

ÍNDICE DE LA MEMORIA

| | |
|---|----|
| RESUMEN | 9 |
| RESUM | 9 |
| ABSTRAC | 10 |
| C1: ANTECEDENTES | 13 |
| C2: OBJETO DEL PROYECTO | 17 |
| C3: UBICACIÓN DE LA E.D.A.R. | 19 |
| 3.1. Estudio de la Población | 21 |
| C4: CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES | 23 |
| 4.1. Tipos de aguas | 23 |
| 4.1.1. Aguas blancas | 24 |
| 4.1.2. Aguas negras | 25 |
| 4.1.3. Aguas Industriales | 26 |
| 4.1.4. Parámetros de la contaminación | 27 |
| 4.2. Descripción de los contaminantes | 28 |
| 4.2.1. Origen contaminante de las aguas | 28 |
| 4.2.2. Indicadores de contaminación | 29 |
| 4.2.3. Criterios de clasificación del agua | 42 |
| C5: VERTIDO AL ALCANTARILLADO PÚBLICO | 43 |
| 5.1. Vertido al alcantarillado público | 43 |
| 5.2. Carga contaminante global | 45 |
| 5.2.1. Actualización de la Carga Contaminante | 48 |
| 5.3. Cálculo de la población equivalente | 49 |
| C6: OBJETIVO DE LA DEPURACIÓN | 51 |
| 6.1. Objetivo de la depuración | 52 |
| 6.2. Objetivos de una EDAR | 52 |
| 6.3. Eficacia de un proceso de depuración | 53 |
| C7: ÍNDICE DE LOS PROCESOS DE DEPURACIÓN | 55 |
| C8: MEDIDAS DE CAUDAL | 59 |
| 8.1. Tipos de aparatos de medida | 59 |
| 8.2. Mantenimiento | 60 |

| | |
|--|-----------|
| 8.3. Solución adoptada | 60 |
| 8.3.1 Caudalímetro Electromagnético | 60 |
| C9: LÍNEA DE AGUAS. PRETRATAMIENTO | 63 |
| 9.1. Aliviadero | 64 |
| 9.2. Desbaste por rejas | 65 |
| 9.2.1. Tipos de Rejas | 66 |
| 9.2.2. Recomendaciones del Diseño de Rejas | 67 |
| 9.3. Desbaste por Tamices | 69 |
| 9.3.1. Eficacia de los Tamices | 70 |
| 9.3.2. Eliminación de los residuos | 70 |
| 9.4. Medidor de caudal | 71 |
| 9.5. Desarenado | 71 |
| 9.5.1. Característica de las arenas | 71 |
| 9.5.2. Desarenadores | 72 |
| 9.6. Pre decantación | 77 |
| 9.6.1. Eliminación de Arena | 77 |
| 9.7. Desengrasado | 79 |
| 9.7.1. Problemas generados por las grasas | 79 |
| 9.7.2. Retención y Recogida de Grasas | 80 |
| 9.7.3. Desarenado – Desengrasado | 81 |
| C10: LÍNEA DE AGUAS. TRATAMIENTO PRIMARIO | 83 |
| 10.1. Sedimentación de flóculos | 85 |
| 10.1.1. Condiciones influyentes | 86 |
| 10.2. Decantadores | 87 |
| 10.2.1. Decantadores Circulares | 87 |
| 10.2.2. Decantadores Dinámicos | 90 |
| C11: LINEA DE AGUAS. TRATAMIENTO SECUNDARIO | 93 |
| 11.1. Fundamentos de la Dep. Biológica | 94 |
| 11.2. Factores de la oxidación biológica | 96 |
| 11.3. Procesos de Digestión | 98 |
| 11.3.1. Lechos Bacterianos | 98 |
| 11.3.2. Fangos Activos | 100 |

| | |
|--|------------|
| 11.4. Consideraciones de Diseño | 112 |
| 11.4.1 Elección del tipo de reactor: | 112 |
| 11.4.2. Criterios de Carga | 113 |
| 11.4.3. Producción de Fangos | 115 |
| 11.4.4. Necesidad de oxígeno | 115 |
| 11.4.5. Necesidad de nutrientes | 155 |
| 11.4.6. Características del afluente | 155 |
| C12: LINEA DE AGUAS. TRATAMIENTO TERCARIO | 117 |
| 12.1. Control de Nutrientes | 118 |
| 12.1.1. Eliminación de fósforo | 119 |
| 12.1.2. Eliminación de nitrógeno | 120 |
| 12.2. Cloración | 121 |
| 12.2.1. Desinfección con Cloro | 121 |
| 12.2.2. Decloración | 124 |
| 12.2.3. Desinfección con ClO_2 | 127 |
| 12.2.4. Desinfección con BrCl | 128 |
| 12.3. Desinfección con Ozono | 129 |
| 12.3.1. Generación de ozono | 129 |
| 12.3.2. Química del ozono | 130 |
| 12.3.3. Efectividad del ozono | 130 |
| 12.3.4. I.A. de la desinfección con ozono | 130 |
| 12.3.5. Otras ventajas del uso del ozono | 131 |
| 12.4. Desinfección con Rayos U.V. | 131 |
| 12.4.1. Fuentes de radiación ultravioleta | 132 |
| 12.4.2. Lámparas de arco | 132 |
| 12.4.3. Cálculo de las dosis de Ultravioleta | 133 |
| 12.4.4. Principales aplicaciones | 133 |
| 12.5. Adsorción con Carbón Activo | 134 |
| 12.5.1. El C.A. como adsorbente | 135 |
| 12.5.2. Isotermas de adsorción | 135 |
| 12.5.3. Funcionamiento de la adsorción | 136 |
| 12.6. Intercambio Iónico | 137 |

| | |
|---|------------|
| 12.7. Separación por Filtración | 138 |
| 12.7.1. Elección del tipo de filtro | 138 |
| 12.7.2. Lechos filtrantes | 139 |
| 12.7.3. Carac. de los materiales filtrantes | 141 |
| 12.7.4. Sistemas de lavado a contracorriente | 141 |
| 12.7.5. Filtración con adición de prod. quím. | 141 |
| 12.8. Electrodialisis | 142 |
| 12.9. Osmosis Inversa | 143 |
| 12.9.1. Ecuación de Van't Hoff | 143 |
| 12.9.2. Principio de la osmosis inversa | 144 |
| C13: LÍNEA DE FANGOS | 145 |
| 13.1. Estudio de los Fangos | 146 |
| 13.1.1. Procedencia | 146 |
| 13.1.2. Características | 147 |
| 13.1.3. Cantidad | 147 |
| 13.2. Captación de Fangos | 148 |
| 13.3. Pretratamiento de Fangos | 149 |
| 13.4. Concentración o Espesamiento | 150 |
| 13.4.1. Aplicación | 150 |
| 13.4.2. Equipamiento de Espesado | 151 |
| 13.4.3. Proyecto de espesadores | 153 |
| 13.5. Digestión | 155 |
| 13.5.1. Digestión Aerobia | 155 |
| 13.5.2. Digestión Anaerobia | 156 |
| 13.6. Acondicionamiento | 157 |
| 13.7. Secado | 158 |
| 13.7.1. Eras de secado | 158 |
| 13.7.2. Centrífugas | 159 |
| 13.7.3. Filtros de Banda | 160 |
| 13.7.4. Filtros Prensa | 160 |
| 13.8. Reutilización, Incineración, Depósito | 162 |
| 13.8.1. Abono de tierras y compostaje | 162 |

| | |
|--|------------|
| 13.8.2. Incineración | 163 |
| 13.8.3. Descarga en vertedero | 163 |
| C14: LÍNEA DE PRODUCCIÓN ELEGIDA | 165 |
| 14.1. Pretratamiento | 165 |
| 14.2. Tratamiento Primario | 167 |
| 14.3. Tratamiento Secundario o Biológico | 167 |
| 14.4. Tratamiento Terciario | 169 |
| 14.5. Vertido al Río Galindo y Ballonti | 171 |
| 14.6. Línea de Fangos | 171 |
| C15: CONTROL E INSTRUMENTACIÓN | 173 |
| 15.1. Medidor de Nutrientes | 174 |
| 15.2. Medidor de pH | 174 |
| 15.3. Medidor de Caudal | 174 |
| 15.4. Medidor de Nivel | 175 |
| 15.5. Medidor de Oxígeno Disuelto | 175 |
| 15.6. Medidor de Sólidos en Suspensión | 176 |
| 15.7. Medidor de DBO | 177 |
| 15.8. Medidor del nivel de Fangos | 177 |
| 15.9. Sistema de detección de Gases | 177 |
| C16: CONTROL DE OLORES | 179 |
| 16.1. Problemática del control de olores | 179 |
| 16.2. Cambios operacionales | 180 |
| 16.3. Control de los vertidos a la red | 181 |
| 16.4. Control de olores en la fase líquida | 181 |
| 16.5. Control de gases olorosos | 181 |
| 16.6. Decisión sobre el control de olores | 183 |
| C17: INSPECCIÓN Y SEGURIDAD | 185 |
| 17.1. Refrigeración / Calefacción | 185 |
| 17.2. Revisión mecánico-física | 186 |
| 17.3. Rutina diaria | 186 |
| 17.4. Rutina semanal | 186 |
| 17.5. Rutina Mensual | 187 |

| | |
|---------------------------------------|------------|
| 17.6. Mantenimiento anual | 187 |
| 17.7. Ejecución de las instalaciones | 187 |
| 17.8. Últimas inspecciones | 188 |
| 17.9. Comp. de los tanques y tuberías | 188 |
| 17.10. Desguace y retirada de A.R. | 188 |
| C18: SEGURIDAD | 189 |
| 18.1. Aspectos de seguridad general | 191 |
| 18.2. Gases y vapores peligrosos | 192 |
| C19: CONCLUSIONES | 195 |
| C20: BIBLIOGRAFÍA | 197 |

RESUMEN

El presente proyecto tiene por objeto dar una visión general del funcionamiento de una Estación Depuradora de Aguas Residuales Mixtas (EDAR), sita en la localidad Vizcaína de Sestao y que atenderá las necesidades de depuración de gran parte de la comarca del Gran Bilbao. Este proyecto definirá las características técnicas de las líneas de actividad industrial que se desarrollarán en la planta, línea de aguas y fangos, especificándose todos los procesos unitarios implicados, tanto físico-químicos como biológicos.

Para ello se tendrá en cuenta la legislación vigente en materia de vertidos al alcantarillado público, así como, los índices de contaminación necesarios tras la depuración para asegurar el cumplimiento de las leyes existentes en cuanto a la implantación de medidas correctoras y las correspondientes medidas para minimizar el impacto medioambiental de la planta, en la fase de operación.

Como objetivo último de la depuración tendremos que no se buscará una potabilización de las aguas para uso humano, sino que, se perseguirá disminuir considerablemente la carga contaminante (en especial la biológica) para el vertido final al río Galindo y/o su reutilización como aguas de riego y limpieza.

También se incluyen en este proyecto los cálculos necesarios para conocer el dimensionamiento necesario de la planta y un presupuesto que haga balance del coste de construcción y una estimación del rendimiento económico futuro de la planta.

RESUM

Aquest projecte té per objecte donar una visió general del funcionament d'una Estació Depuradora d'Aigües Residuals mixtes

(EDAR), situada a la localitat biscaïna de Sestao i que atendrà les necessitats de depuració de gran part de la comarca del Gran Bilbao. Aquest projecte definirà les característiques tècniques de les línies d'activitat industrial que es desenvoluparan a la planta, línia d'aigües i fangs, especificant tots els processos unitaris implicats, tant fisicoquímics com biològics.

Per això es tindrà en compte la legislació vigent en matèria d'abocaments al clavegueram públic, així com, els índexs de contaminació necessaris després de la depuració per assegurar el compliment de les lleis existents quant a la implantació de mesures correctores i les corresponents mesures per minimitzar l'impacte mediambiental de la planta, en la fase d'operació.

Com a objectiu últim de la depuració haurem de no es buscarà una potabilització de les aigües per a ús humà, sinó que, es perseguirà disminuir considerablement la càrrega contaminant (en especial la biològica) per a l'abocament final al riu Galindo i / o la seva reutilització com a aigües de reg i neteja.

També s'inclouen en aquest projecte els càlculs necessaris per conèixer el dimensionament necessari de la planta i un pressupost que faci balanç del cost de construcció i una estimació del rendiment econòmic futur de la planta.

ABSTRAC

This project aims to provide an overview of the functioning of a Station Joint Wastewater Treatment Plant (WWTP) located in the town of Sestao Biscayne and debugging address the needs of much of the region of Gran Bilbao. This project will define the technical characteristics of the lines of industrial activity to be developed in the plant, water and mud line, and specifying all the unit processes involved, both physical-chemical and biological.

This will take into account the existing legislation concerning discharges to public sewers, as well as pollution levels after treatment necessary to ensure compliance with existing laws regarding the implementation of corrective measures and corresponding measures to minimize the environmental impact of the plant, in operation phase.

The ultimate goal of purification will not seek a water purification for human use, but will be pursued significantly reduce the pollutant load (especially biological) for the final discharge to the river Galindo and / or water reuse as irrigation and cleaning.

Also included in this project the necessary calculations to determine the necessary dimensions of the plant and make a budget balance of construction costs and an estimate of future economic performance of the plant.

CAPÍTULO 1:

ANTECEDENTES

La depuración de aguas residuales implica una serie de diversos procesos de eliminación y transformación de las sustancias contaminantes, tanto inorgánica como orgánica, presentes en las aguas de desecho, provenientes tanto de las actividades agrícolas e industriales, como de los usos urbanos. El objetivo será triple, por un lado, verter las aguas depuradas a un río o mar, cercanos a la planta, para reintroducirlas en el ciclo vital de agua, o bien reutilizarlas de alguna forma, como en la limpieza de calles y en el riego de jardines y parques; por otra parte, el último objetivo sería estabilizar las sustancias contaminantes retenidas en forma de fangos semisólidos que habrán de ser correctamente tratados y desecados para disponer de ellos para diversas acciones.

Esto nos lleva a retrotraernos al modo, inexistente, de la depuración de aguas residuales hasta hace bien poco, ya que a lo largo de la historia, el hombre ha optado, o bien por canalizar los efluentes contaminados para alejarlos de los núcleos de población mediante alcantarillado o acequias al aire libre; o bien, de forma más directa, desechar los residuos (tanto líquidos, como sólidos) a las vías y calles de las poblaciones, esperando a su descomposición y/o absorción por parte de los suelos. Huelga decir que esta última opción ha traído

consigo, a lo largo de la historia, enfermedades y plagas (Peste Negra en Europa en el s. XIV).

No es hasta los siglos XIX y XX, que, como consecuencia de las revoluciones industriales, y la mejora de la calidad de vida la población crece exponencialmente, situándose en grandes núcleos poblacionales. Este fenómeno produjo que el uso del agua también creciese descontroladamente y que, por consiguiente, las aguas contaminadas se convirtiesen en un gran problema para la calidad de vida, no sólo de los seres humanos, sino que, también de los ecosistemas, cercanos a zonas de vertido de estas aguas, de los que estos dependían. Es aquí cuando se empezó a tomar conciencia de la necesidad de tratar los residuos producidos por la especie humana, en el caso que nos atañe, los efluentes líquidos de las actividades industriales y del uso doméstico.

Hoy en día el 59% del consumo total de agua en los países desarrollados se destina a uso industrial, el 30% a consumo agrícola y un 11% a uso doméstico, según se constata en el primer informe de Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo, "Agua para todos, agua para la vida" (marzo 2003). En 2025, el consumo de agua alcanzará los 1.980 km³ / año, cifra que en 1995 se situaba en 1270 km³ / año. Dentro de los usos que se le dan al agua, el sector productor no sólo es el que más gasta, también es el que más contamina. Más de un 80% de los desechos peligrosos del mundo se producen en los países industrializados y los índices de contaminación den países emergentes como India o China están descontroladas.

Estos datos aportan una idea de la importancia que tiene el tratamiento y la reutilización de aguas residuales en el mundo, y más aún en países que saldan su balance de recursos hídricos con números rojos. Es el caso de España, la nación europea con mayor déficit hídrico.

Según el Libro Blanco del Agua, el consumo en España es de 35.000 Hm³/año. Sin embargo, su uso presenta particularidades respecto a la media mundial, ya que el 68% se destina a regadío, el 18% a abastecimiento de población e industria, y el 14% restante a sistemas de refrigeración de producción de energía.

El agua es tanto un derecho como una responsabilidad, y tiene valor económico, social y ambiental. Cada ciudadano, cada empresa, ha de tomar conciencia de que el agua dulce de calidad es un recurso natural, cada vez más escaso tanto a nivel superficial como subterráneo, necesario no sólo para el desarrollo económico, sino imprescindible como soporte de cualquier forma de vida en la naturaleza. No cabe duda de que la industria es motor de crecimiento económico y, por lo tanto, clave del progreso social. Sin embargo, demasiado a menudo la necesidad de maximizar el proceso productivo excluye de la planificación la tercera pata del progreso, la protección del Medio Ambiente, sólo el endurecimiento de las leyes parece hacer concienciarnos de la importancia de la naturaleza.

El adecuado tratamiento de aguas residuales mixtas (mezcla de aguas industriales y urbanas) y su posterior reutilización, para múltiples usos, contribuye a un consumo sostenible del agua y a la regeneración ambiental del dominio público hidráulico y marítimo y de sus ecosistemas. Sin olvidar que el agua de calidad es una materia prima crítica para la industria.

La comunidad internacional ha reconocido en múltiples foros el importante papel que juega el agua en un sistema sostenible de desarrollo industrial a largo plazo. La Agenda 21, surgida de las conversaciones de Río 92, concluye en el capítulo 30 que las políticas y operaciones comerciales e industriales pueden desempeñar un papel decisivo en la conservación medioambiental y el mantenimiento de los recursos si se incrementa la eficacia de los procesos de producción y se adoptan tecnologías y procedimientos limpios, reduciendo al mínimo, e incluso evitando, los deshechos.

Por su parte, el Plan de Aplicación de las Decisiones de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible de 2002 alienta a la industria a desarrollar su función social estableciendo sistemas de ordenación ambiental, códigos de conducta, medidas de certificación y publicación de informes sobre cuestiones ambientales y sociales. Un año más tarde, la Declaración Ministerial del Tercer Foro Mundial del Agua reunido en Kyoto propone recaudar fondos siguiendo criterios de recuperación de costes que se adapten a las condiciones climáticas, medioambientales y sociales del lugar, así como el principio de que "el contaminador paga". Pero los principales países contaminantes nos suscriben este tratado.

En el ámbito europeo, la Directiva 2000 incorpora la calidad como objetivo de la política general del agua, lo que supone un impulso para las técnicas y tecnologías –presentes y futuras, gracias a la investigación – encaminadas a que el agua retorne a la Tierra, una vez utilizada, en condiciones que no sólo permitan la supervivencia, sino la regeneración de algunos de nuestros ecosistemas.

Según el Instituto Nacional de Estadística (INE), en España el volumen de agua residual recogido en 2003 fue de 3.469 Hm³, de 35.000 Hm³ y teniendo en cuenta que el 68% se destina a uso agrario, sólo se recogió en 31% de los 11.200 Hm³ que están destinados a industria y uso urbano, de los que sólo se reutilizó, una vez depurada el agua, un 4% (unos 170 Hm³). Aunque es difícil cuantificar el volumen de aguas residuales que pueden reutilizarse para distintos usos, todos los estudios que se han realizado sobre la materia confirman el enorme potencial de España en este campo. Entre los métodos más rigurosos para determinar la capacidad de reutilización de recursos hídricos se encuentra el elaborado por Hochstrat (2005). Según su modelo, España tiene un potencial de reciclado de 1.300 Hm³, un orden de magnitud muy superior al actual.

CAPÍTULO 2:

OBJETO DEL

PROYECTO

Este proyecto tiene como objeto dar solución a los vertidos de aguas contaminadas, tras su uso industrial y urbano, mediante el diseño, para su puesta en funcionamiento, de una estación depuradora de aguas residuales para, de esta manera, ser devueltas al ciclo hídrico con unos índices de contaminación acordes a la legislación vigente.

Dicha estación estará situada en la localidad Vizcaína de Sestao, por lo que atenderá a las aguas residuales producidas por parte importante de la Comarca del Gran Bilbao. Por tal que estará sometida a regulación por las leyes autonómicas vascas. Partiendo de la directiva 98/15/CE del consejo europeo y aplicada mediante la Ley 1-2006, de 23 de Junio, de Aguas de Euskadi.

De tal manera, que, en el presente proyecto se definirán los procesos de depuración y el equipo necesario para un proceso regenerativo acorde con lo requerido por las instituciones. También se buscarán las soluciones óptimas para un mejor proceso en las condiciones

necesarias para el correcto tratamiento específico de las aguas recogidas.

Por último aclarar que en dicho proyecto no se detallarán los aspectos de construcción de los edificios, de los accesos, aparcamientos... ya que eso estaría relacionado con la obra civil. Por lo que se presentará, sólo, todo lo que esté relacionado con la cadena de producción para la óptima depuración de las aguas.

CAPÍTULO 3:

UBICACIÓN

DE LA E.D.A.R.

La Estación Depuradora de Aguas Residuales se encuentra entre los términos municipales de Baracaldo y Portugalete, en el municipio de Sestao. Dentro de la comarca del Gran Bilbao, en la provincia de Vizcaya, País Vasco.

Las aguas que habrán de ser tratadas por la EDAR pertenecen a gran parte de la comarca, tanto de la margen derecha, como de la margen izquierda de la ria del Nervión. Recogiéndose, mediante una complicada red de colectores (unos 250km), las aguas de Galdacano, Arrigorriaga, Basauri, Bilbao, Zorroza, Baracaldo y Sestao.

La gestión de estas aguas corre a cargo del Consorcio de Aguas de Bilbao Vizcaya que es el responsable de los servicios de abastecimiento de agua y saneamiento en el área metropolitana de Bilbao. Su ámbito de actuación se extiende asimismo a otros 19 municipios de las cuencas medias y altas del Kadagua, Ibaizabal, Arratia y Nervión y de las cuencas del Mercadillo y del Butrón, adyacentes a la del estuario del Nervión. El Consorcio agrupa a un

L'EDAP, l'Institut de l'énergie atomique du Canada, PI-2744, Université Laval

BI-711



zona en la que se ubica la planta es una zona muy industrializada.

3.1. Estudio de la Población

La zona a la que va a prestar uso la EDAR es una zona con un crecimiento demográfico muy pequeño, e incluso, con tasas negativas en, depende que, periodos.

Todos los grandes municipios de Vizcaya, a excepción de Baracaldo que ha ganado 907 habitantes, han perdido población entre el 2003 y 2008. En concreto, Portugalete pierde 3.906 habitantes, Basauri 3.703, Getxo 2.695 y Bilbao 732. Por el contrario, la población aumenta en los municipios pequeños de Vizcaya, principalmente en la zona de Plentzia - Mungia y del Duranguesado, zonas que no entran dentro del ciclo de reciclado de nuestra EDAR.

Aún así, la previsión de crecimiento, cara al 2020, es positiva, pero muy pequeña. Siendo las previsiones para Vizcaya de un crecimiento del 1,11% de 1.168.600 habitantes en 2010 a 1.181.600 en 2020.

CAPÍTULO 4: CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

En el siguiente apartado se procederá a un estudio de las características del agua entrante a planta, con las especificaciones previstas por el reglamento correspondiente y con sus cargas contaminantes.

4.1. Tipos de aguas

El agua residual es aquel que procede de haber utilizado un agua natural, o de la red, en un uso determinado. Las aguas residuales cuando se desaguan se denominan vertidos y éstos pueden clasificarse en función:

- Del uso prioritario u origen, en nuestro caso mixto (industrial y urbano).
- De su contenido en determinados contaminantes, para ello se harán controles regulares en los puntos de vertido.

A continuación se detallan las características de las aguas según su uso o u origen prioritario.

4.1.1. Aguas blancas

Las aguas blancas están constituidas fundamentalmente por agua de lluvia, que es causante de las grandes variaciones en el caudal de tratamiento. No obstante, con el progresivo avance y desarrollo del urbanismo subterráneo (aparcamientos, vías de comunicación, galerías de servicios...) las aguas de drenaje han ido teniendo una mayor importancia, especialmente por estar muy frecuentemente afectadas por la contaminación que se fuga de la red de cloacas. Por lo que en muchas ciudades se han desarrollado tanques tormenta subterráneos para recoger estas aguas.

Las aguas blancas están compuestas por los siguientes agentes contaminantes:

- Elementos de contaminación atmosférica: deposiciones húmedas acidas, provenientes de los óxidos del N y el S hidrolizados en la atmósfera.
- Restos de la actividad humana y asociada: papeles, excrementos, restos de recogida y evacuación de basura, recogidos por arrastre.
- Residuos del tráfico: aceites, grasas, hidrocarburos, compuestos fenoles y de plomo...
- Arenas y residuos vegetales de zonas como jardines y huertos
- Contaminación aportada por las aguas de drenaje: aguas salobres, fugas de cloacas...

Además de estos compuestos, la primera tanda de lluvias arrastra depósitos acumulados en sus conducciones por lo que su vertido o

llegada a la depuradora esta, frecuentemente, tanto o más contaminada que las aguas negras.

Las características medias de estas aguas acostumbran a ser:

Tabla 1. *Características de las aguas blancas.*

| Características | Contaminación (mg/l) |
|-------------------------|-------------------------|
| DBO ₅ | 25 |
| DQO | 65 |
| SS | 230 |
| SSV | 49 |
| N en (NH ₃) | 0,2 |
| N en (NO ₂) | 0,05 |
| N en (NO ₃) | 0,5 |
| N (orgánico) | 1,4 |
| PO ₄ (total) | 1,15 |
| PO (soluble) | 0,46 |

4.1.2. Aguas negras

En las aguas negras o urbanas, los compuestos químicos y biológicos que se encuentran presentes son muchos. Por citar algunos, podríamos mencionar: microorganismos, urea, albúmina, proteínas, ácido acético y láctico; bases jabonosas y almidones; aceites animales, vegetales y minerales; hidrocarburos; gases: sulfúrico, metano,...; sales: bicarbonatos, sulfatos, fosfatos, nitritos, nitratos,...

Las características mínimas y suficientes para definir un vertido urbano, quedarían suficientemente representadas por los valores que a continuación se exponen:

Tabla 2. Características de las aguas blancas.

| Parámetro | Contaminación Fuerte | Contaminación media | Contaminación Ligera |
|----------------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| Sólidos totales | 1000 | 500 | 200 |
| Volátiles | 700 | 350 | 120 |
| fijos | 300 | 150 | 80 |
| Sólidos en suspensión | 500 | 300 | 100 |
| Volátiles | 400 | 250 | 70 |
| Fijos | 100 | 50 | 30 |
| Sólidos sedimentables | 250 | 180 | 40 |
| Volátiles | 100 | 72 | 16 |
| Fijos | 150 | 108 | 24 |
| Sólidos disueltos | 500 | 200 | 100 |
| Volátiles | 300 | 100 | 50 |
| Fijos | 200 | 100 | 50 |
| DBO ₅ a 20 °C | 300 | 200 | 100 |
| D.Q.O. | 800 | 450 | 160 |
| Oxígeno disuelto | 0 | 0,1 | 0,2 |
| Nitrógeno total (N) | 86 | 50 | 25 |
| Orgánico (N) | 35 | 20 | 10 |
| Amoníaco libre N-NH ₄ | 50 | 30 | 15 |
| Nitritos N-NO ₂ | 0,10 | 0,05 | 0,00 |
| Nitratos N-NO ₃ | 0,40 | 0,20 | 0,10 |
| Fósforo total (P) | 17 | 7 | 2 |
| Cloruros | 175 | 100 | 15 |
| PH | 6,9 | 6,9 | 6,9 |
| Grasas | 40 | 20 | 0 |
| Valores en mg/l excepto el pH. | | | |

4.1.3. Aguas Industriales

Con independencia de la existencia de índices similares a los encontrados en vertidos urbanos, aparecen otros como tóxicos o inhibidores, que en ciertas proporciones impiden los procesos enzimáticos de los microorganismos, o incluso producen su muerte. La gran variedad y cantidad de productos que se vierten, obliga a una investigación propia para cada tipo de industria. No existe similitud entre los vertidos de actividades industriales, cómo: alimentación, química, petroquímica, agrícola, forestal, minerales y metalúrgicas,... De todos modos, si el contenido es muy alto en materia orgánica o sólidos en suspensión, pueden estimarse la elección de índices con el

mismo criterio que el analizado por la definición de las aguas residuales de origen doméstico. Pero será necesario analizar las sustancias específicas vertidas, que pudieran dificultar el tratamiento biológico o afectar a los materiales constitutivos de la red de alcantarillado u obras en contacto con las aguas. La industria habrá de corregir, antes de verter los parámetros perturbados, mediante la ley de vertidos, la cual veremos en el siguiente capítulo, que están tabulados.

Son numerosos los contaminantes orgánicos e inorgánicos procedentes de la actividad industrial, docenas de millares, pero de forma resumida, se deberán de contemplar índices que definan el contenido en:

- Ácidos que puedan atacar el material o inhibir los procesos.
- Bases que puedan inhibir los procesos biológicos.
- Productos petrolíferos y grasas poco degradables.
- Detergentes que retrasan la sedimentación, forman espumas e impiden la re-aireación.
- Metales pesados: Cu, Cr, As, Cd, Pb, Hg, B, etc., tóxicos para los microorganismos que intervienen en los procesos biológicos.
- Fenoles, cianuros, inhibidores y tóxicos.
- Productos radioactivos.

4.1.4. Parámetros de la contaminación

Los parámetros fundamentales a contemplar en las aguas residuales pueden reducirse a:

- Partículas en suspensión.
- Contenido orgánico.
- Contenido de microorganismos.
- Contenido de nutrientes.

4.2. Descripción de los contaminantes

A continuación paso a describir tanto el origen como los contaminantes que se pueden hallar en las aguas residuales a tratar. De la misma forma también expondré las características organolépticas de estas aguas y las formas de establecer similitudes con otros sentidos.

4.2.1. Origen contaminante de las aguas

El origen de la contaminación de las aguas es diverso, pero se puede dividir en 4 grupos.

Vertidos de aguas residuales urbanas:

- Afecta a ríos y acuíferos.
- En las ciudades de la costa muchas veces los colectores vierten aguas sin depurar directamente al mar.

Vertederos de residuos urbanos, industriales o agrarios:

- Los lixiviados pueden contaminar acuíferos y aguas, tanto superficiales como subterráneas.

Productos agrarios:

- Sobreexplotación de los recursos hídricos. Aumenta la salinización de las aguas subterráneas.
- Incorporación de fertilizantes y productos fitosanitarios a las corrientes superficiales y los acuíferos, eutrofización.

Fugas en conducciones y depósitos:

- Conducciones de residuos urbanos
- Conducciones de uso industrial
- Almacenamiento de productos industriales
- Transporte de productos petrolíferos

4.2.2. Indicadores de contaminación

4.2.2.1. Indicadores físicos

a) Variaciones de la T (K o °C):

- Afectan a los procesos biológicos a nivel celular.
- Alteran la cantidad de oxígeno disuelto en el agua (a mayor T menor cantidad de O₂ disuelto).
- Condicionan la existencia de animales de sangre fría.
- El motivo de una T anormalmente alta puede ser indicativo de presencia de radioactividad.

La temperatura óptima de trabajo de las bacterias en los procesos biológicos está entre el 25 y los 35 °C, siendo 50°C la temperatura en que la nitrificación y la respiración aeróbica se detienen.

b) Partículas en suspensión, inorgánicas (arenas, lodos, grava, etc.) u orgánicas (fragmentos de animales o vegetales):

- Alteran la transparencia del agua.
- Alteran el color.
- Alteran el gusto.
- Aumentan la cantidad de espumas.

c) Conductividad (S/m): Se utiliza para determinar la concentración de sales inorgánicas, especialmente la concentración de cloruros y sulfatos.

- Agua apta para todos los usos: < 0,4 S/m
- Agua apta para regar: 0,4 < ... < 0,7 S/m
- Agua no aprovechable: > 3 S/m

d) Densidad:

Se expresa en unidades de Kg/m³ depende de la temperatura y varía según la concentración de sólidos totales en el agua residual. Su variación instantánea puede provocar cambios de densidad en fangos de sedimentación y dañar instalaciones del tratamiento.

e) Parámetros Organolépticos:

Gusto y Olor: El agua en estado natural no presenta ningún tipo de olor ni sabor, ya que no contiene sustancias que a temperatura ambiente puedan ser captadas por los sentidos del gusto o el olfato.

El análisis de una muestra consiste en la detección simultánea de la presencia de olor y sabor en el agua, mediante la comparación de la muestra objeto de análisis con agua desodorizada y sin un gusto especial. Los principales compuestos olorosos que se asocian al agua residual son:

- Aminas: Olor a pescado.
- Amoniaco: Olor amoniacal.
- Diaminas: Olor a carne en descomposición.
- Sulfuro de Hidrógeno: Olor a huevos podridos.
- Sulfuros Orgánicos: Olor a coles podridas.
- Eskatol: Olor a materia fecal.

Turbidez: La presencia de partículas finamente divididas y en suspensión hacen que el agua tenga un aspecto turbio con falta de transparencia. Un agua turbia provoca que la actividad fotosintética se realice con dificultad.

La materia coloidal y residual en suspensión, dispersa o absorbe la luz. La transmisión de la luz a través del agua se puede comparar con una suspensión de referencia por determinar la turbidez. La unidad de medida mayormente empleada es la NTU (Nefelometry Turbidimetry Unit). No existe relación entre la turbidez y el contenido de sólidos en el agua residual sin tratar, cosa que sí pasa con el agua procedente de la decantación secundaria y que viene dada por la expresión: $SS \text{ (mg/l)} = (3,2 \text{ a } 2,4) * (\text{Turbidez, NTU})$.

Color: El color, junto con el olor, permite determinar la edad del agua residual.

Se compara el color de una muestra con una solución de cloruro de cobalto y cloro platino a diferentes concentraciones. Las unidades expresan en diluciones 1, 5, 10, 20... que se corresponden con los mg de platino/l de dilución.

4.2.2.2. Indicadores Químicos

a) Concentración del ión H_3O^+ :

- El pH óptimo para la vida está entre 6 y 8.
- El pH del agua condiciona la posibilidad de vida en el medio.
- El pH condiciona la presencia y evolución de algunos contaminantes en el agua.

b) Materia Orgánica

Su estructura básica está compuesta por los elementos C, H, O y en ciertos casos, N combinados entre ellos y con otros elementos como el S, P y Fe. Las principales sustancias orgánicas contenidas en el agua se describen a continuación:

- Proteínas: son el principal componente de los organismos animales y su presencia es menos importante en los vegetales. Junto con la urea son los mayores portadores de N al agua residual. Esto se debe a que en los aminoácidos contenidos en estos el N juega un papel importante en la composición.
- Hidratos de carbono: los hidratos de carbono solubles, como el azúcar, son descompuestos por las bacterias mediante un proceso de fermentación. Los que no son solubles, como el almidón, son más estables pero se pueden convertir en azúcares por la actividad bacteriana. La celulosa es el hidrato de carbono más importante en cuanto a volumen dentro de un agua residual y es fácilmente destruible por la acción de diversos hongos.
- Grasas, grasas animales y aceites: por grasa entendemos todas las grasas animales, aceites, ceras y otros constituyentes presentes en las aguas residuales. Son compuestos muy estables y difícilmente digeribles por vía bacteriana, pero si son atacados por ácidos minerales y en un medio alcalino y con constituyentes de dureza dan lugar a jabones minerales insolubles en agua y precipitan.

Tanto aceites minerales como las grasas, aceites y jabones interfieren en el proceso biológico y provocan la creación de partículas y la acumulación de materia flotante, fenómeno desagradable. Por eso se tiene que tratar antes de su vertido a la alcantarilla.

- Agentes tenso-activos: Son causantes de espumas en las plantas de tratamiento y en otras partes del vertido de agua residual. Hasta el 1965, los detergentes sintéticos presentaban agentes tenso-activos tipo ABS (o sulfatos de alquilbenzeno) que no eran biodegradables, lo cual hizo sustituirlos por otros que sí que lo eran, como ahora los sulfatos de alquilo lineales.
- Contaminantes prioritarios: Son aproximadamente 129 agrupados en 65 clases y todos ellos tienen relación directa o potencial con procesos cancerígenos, mutacionales, teratomas o de alta toxicidad. En la red de alcantarillado o en la planta de tratamiento se pueden transformar, generar o, simplemente, transportar sin cambio alguno. En su control en las EDAR hay dos tipos de medidas restrictivas para estas sustancias: los “vertidos prohibidos” y las “limitaciones por categorías”.
- COV: Son las iniciales de Compuestos Orgánicos Volátiles. Tienen la característica común de iniciar la ebullición por debajo de los 100 °C y su presión de vapor es mayor de 1 mm Hg en 25 °C. Son fácilmente liberados a la atmósfera, cosa que puede repercutir a la salud pública y a la formación de oxidantes foto químicos que aumenten la concentración de hidrocarburos reactivos.
- Pesticidas y productos de uso agrícola: No son comunes al agua residual urbana, pero en ciertas ocasiones se incorporan por escorrentía. Todo y ser el nivel de trazos son perjudiciales por la mayoría de formas de vida.

c) Materia Inorgánica

A excepción de determinados residuos industriales, no es objetivo específico del tratamiento eliminar los contaminantes inorgánicos del agua. Aunque, se tiene que estudiar la naturaleza de alguno de ellos, ya que afectan al uso de agua.

- pH: El intervalo adecuado para el buen desarrollo de la vida biológica es muy estrecho (pH 6-8). Un agua residual con pH inadecuado puede dar problemas al tratamiento biológico y puede alterar la concentración del ión H_3O^+ de las aguas naturales si no se corrige antes de ser vertidas.
- Cloruros: Proviene de tres fuentes principales: de disoluciones de rocas y suelos, de agua salada proveniente de las aguas costeras o de agua residual agrícola doméstica o industrial. Precisamente, una alta concentración de cloruro en un agua puede ser indicativo de que se está utilizando por vertido de agua residual.
- Alcalinidad: Es aportada comúnmente por bicarbonatos de Calcio y Magnesio y son buenos reguladores de los cambios de pH provocados por ácidos. El agua residual es alcalina y el grado de alcalinidad es de importancia para los tratamientos químicos, la eliminación biológica de nutrientes y la eliminación de amoníaco por arrastre de aire.

Se distingue la alcalinidad total de la simple.

- *Alcalinidad Total o TAC*, comprende: bicarbonatos HCO_3^- , carbonatos CO_3^{2-} e hidróxidos OH^- que son iones que confieren un carácter alcalino al agua.
- *Alcalinidad simple o TA*, comprende sólo los hidróxidos y los carbonatos.

Esto nos lleva a definir el término dureza del agua que se entiende por la suma de las concentraciones de los cationes Mg y Ca. Es la responsable de la formación de depósitos e incrustaciones que perjudican las instalaciones y los productos que han estado en contacto con el agua.

- Nitrógeno y Fósforo: Son los elementos nutritivos necesarios para el crecimiento biológico. Si el contenido es insuficiente, como en ciertas aguas residuales industriales, será necesario añadirse para hacer tratables estas aguas en el tratamiento biológico. Por contra, un contenido muy elevado de P y de N en forma de nitratos da lugar a la proliferación de ciertas algas y hongos, fenómeno indeseable para conseguir un agua bien depurada.

Este fenómeno pasa sobretodo en aguas urbanas, que pueden llegar a contener de 150 a 250 gr de Nitrógeno y de 40 a 60 gr de fósforo, cuando el necesario es de 20 a 60 y de 3 a 9 respectivamente.

El Nitrógeno se puede presentar en forma orgánica, amoniacal, nitritos y nitratos. El primero se determina con el ensayo Nitrógeno Kjeldahl. Incluso así, el ensayo de Nitrógeno Kjeldahl total determina el contenido tanto orgánico como amoniacal, así este último se puede determinar por combinación de los dos métodos.

Los nitritos, aún en concentración baja (1 mg/l máx.) son tóxicos para la mayor parte de la vida acuática. El contenido de nitratos está limitado a 45 mg/l en los afluentes secundarios para recargar las aguas subterráneas. Esto es debido a que los nitratos reducen la capacidad de transporte de O₂ a la sangre y supone grandes consecuencias sobre la salud de los niños.

En un agua residual la presencia de N es, en primer término, en forma de urea y proteínas, pero inmediatamente pasa en forma amoniacal, que en medio aerobio se oxida a nitritos y a nitratos.

El Fósforo libre se encuentra presente en aguas urbanas en una cantidad entre 4 y 15 mg/l.

En soluciones acuosas se presenta como orto-fosfatos, disponibles directamente por el metabolismo biológico, como poli-fosfatos, la hidrólisis de los cuales da orto-fosfatos, y en los fosfatos orgánicos, de poca importancia en residuos domésticos, pero sí en vertidos industriales y en fango de aguas residuales domésticas.

- Fósforo total: es imprescindible para el desarrollo de los microorganismos de las aguas y en consecuencia para el proceso de depuración biológica. Influye en el transporte y retención de los metales en el agua por el fenómeno de complejoado.
- Formas del nitrógeno: el contenido total en nitrógeno está compuesto por nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato. La presencia de unos u otros señala la proximidad o distancia al punto de vertido de agua residual (cuanto más próximo mayor cantidad de amonio; por el contrario habrá más nitrato cuanto más lejos se encuentre del punto de vertido).

Un fenómeno importante derivado de estos dos elementos es el problema de la eutrofización de ríos, lagos y mares.

La alta concentración de nutrientes puede provocar efectos adversos en los ecosistemas, como la proliferación de algas sesila y planctónicas, la descomposición de las cuales hace que se consuma O_2 y la consecuente muerte o abandono de muchas especies acuáticas. La depuración, junto con ciertas restricciones a nivel legislativo en materia de detergentes, ha contribuido a que en las últimas décadas la concentración de P en los ríos europeos se haya reducido en un 50%, y ha pasado de 0,3 a 0,15 mg/l. Por contra, la reducción en el uso de fertilizantes nitrogenados no se ha notado en los ríos, que aun contienen entre 2,5 y 3 mg/l de media.

- Azufre: La presencia natural del Azufre en aguas residuales y de abastecimiento es debido a su presencia en la síntesis y degradación de las proteínas.

Se presenta habitualmente en forma de ión sulfato, el cual puede ser reducido a sulfuros y a sulfuro de hidrógeno anaeróbicamente por bacterias. Este último puede ser oxidado biológicamente a ácido sulfúrico, que puede causar corrosión en las cloacas.

- Compuestos tóxicos: Dentro de los más importantes se encuentran los cationes del Cobre, Plomo, Plata, Cromo, Arsenio, Boro, Níquel, Potasio y Sodio, que son tóxicos a diferentes grados. Entre estos destaca el Cobre, que puede afectar el tratamiento en los digestores de fango si supera los 100mg/l. Otros, como el Calcio, se pueden controlar aprovechando la alcalinidad de los fangos, que hace precipitar los iones antes de llegar a la concentración crítica.
- Amonio (NH_4): Proviene de la descomposición de la materia orgánica y se encuentra en esta forma en medios anaerobios. Se puede determinar su concentración mediante el uso de un electrodo selectivo o bien por espectroscopia de absorción en el visible.

4.2.2.3. Indicadores Biológicos

a) Materia orgánica:

Los procesos de descomposición aerobia de la materia orgánica presente en el agua originan un incremento de la actividad bacteriana que consume el oxígeno disuelto en el agua. Concentraciones de oxígeno inferiores a 5 mg/l suponen la desaparición de muchas especies acuáticas.

Microorganismos (estreptococos, cobalicias, coliformes fecales,...)

b) Organismos presentes en el agua:

Bacterias

Junto con las algas y los protozoos forman el subgrupo de microorganismos llamados protistas.

En función de su forma se pueden clasificar en cuatro grandes grupos: esferoidales, bastón, bastón curvado y filamentosas.

Las bacterias esferoidales, también llamadas cocos, tienen un diámetro aproximado de entre 1 y 3 micras. Las bacterias de forma de bastón (bacilos) tienen medidas de entre 1,5 y 2 micras de ancho por entre 1 y 10 de largo. Los *Escherichia Coli*, organismo común a los desechos humanos, miden del orden de 0,5 micras de ancho por 2 de largo. Los de tipos de bastón curvado 0,6 y 1 por entre 2 y 6. Las de forma de espiral llegan hasta las 50 micras mientras que las filamentosas pueden superar las 100 micras.

Las bacterias desarrollan un amplio papel e importante en la descomposición y estabilización de la materia orgánica. En el apartado donde se explica el proceso de fangos activados se describe más detalladamente el papel desarrollado por cada una de ellas y de otros microorganismos en el mecanismo de depuración biológica.

Hongos

Se clasifican técnicamente como protistas eucariotas aeróbicos, multicelulares, no fotosintéticos y quimio-heterótrofos. Muchos son

saprofitos, es decir, que su alimentación se basa en la materia orgánica muerta. Junto con las bacterias son las principales responsables de la descomposición del carbono de la biosfera.

Ecológicamente presentan ciertas ventajas sobre las bacterias: pueden crecer y desarrollarse en zonas de baja humedad y ámbitos de pH bajos.

Sin la colaboración de los hongos a los procesos de degradación de la materia orgánica del ciclo del carbono se interrumpiría en poco tiempo y la materia orgánica se comenzaría a acumular.

Las algas superficiales pueden presentar serios inconvenientes, dado que pueden reproducirse rápidamente cuando las condiciones sean favorables. Este fenómeno de crecimiento explosivo puede provocar la cobertura de decantadores y reactores de las depuradoras por colonias flotantes de algas. En el caso de que el afluente de la depuradora vaya a parar a ríos o lagos puede provocar la eutrofización de estos por llevar un contenido rico en nutrientes biológicos.

Algas

Uno de los principales retos de la Ingeniería Sanitaria es encontrar el proceso adecuado para aguas residuales de diferente tipo porque los afluentes no favorecen el crecimiento de algas y otras plantas acuáticas. Parece ser que la solución pasa por la eliminación del carbono y de las diferentes formas de Nitrógeno y Fósforo, y de otros elementos a nivel de trazas.

Protozoos

Son organismos eucariotas con estructura formada por una célula abierta. Se alimentan de bacterias y otros microorganismos microscópicos. La mayoría son aeróbicos o facultativos, pero no se conocen anaerobios.

Las amebas, los flagelos y las ciliadas libres y fijos son los de principal importancia para el ingeniero sanitario.

Su importancia en los procesos biológicos se debe a que son capaces de mantener un equilibrio natural entre los diferentes tipos de microorganismos.

Plantas y animales

Abarcan diferentes medidas; desde los gusanos y rotíferos microscópicos hasta los crustáceos macroscópicos.

En su conocimiento sirve para valorar la efectividad de vida biológica a los tratamientos secundarios enfocados a la destrucción de la materia orgánica.

Virus

Son partículas parásitas formadas por un cordón de material genético y recubierto de una capa proteínica. Entre los de importancia sanitaria destaca el de la Hepatitis.

Se ha demostrado que pueden llegar a vivir hasta 41 días en aguas residuales y limpias, a 20°C, por eso es importante saber controlar los mecanismos de transporte y eliminación.

c) Indicadores Microbiológicos:

Son muchos los microorganismos patógenos de origen humano que se pueden encontrar en el agua. Además son difíciles de detectar y analizar. Es por ello que se utilizan microorganismos como indicadores: coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales, etc. Los indicadores no siempre son perjudiciales para ellos mismos pero su presencia indica la posible existencia de microorganismos patógenos. De forma complementaria hay que detectar la presencia de microorganismos patógenos como salmonellas, estafilococos patógenos, bacteriófagos fecales y enterovirus. Estos se clasifican en:

- Parásitos: viven a expensas de otro organismo vivo, siendo a su vez benignos o patógenos. Éstos últimos suelen ser los causantes de enfermedades que afectan directamente al hombre, como hepatitis, fiebres tíficas, cóleras, salmonelosis...
- Saprophytes: viven de la materia orgánica muerta descomponiéndola para alimentarse.

d) Medida del contenido Orgánico:

Entre los muchos métodos para determinar el contenido de sustancias en aguas residuales, destacaremos aquellos que sirven para medir altos contenidos orgánicos, mayores de 1mg/l.

Algunos de estos son de especial importancia en el mantenimiento y explotación de las EDAR, ya que permiten conocer en todo momento cual es el estado actual del proceso de depuración y si el nivel de depuración es el adecuado para las condiciones ambientales.

Otros han caído en desuso o se utilizan para otras finalidades, como el contenido de Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK), se utilizaba antes como indicador de materia orgánica; ahora su finalidad es la de determinar la disponibilidad de N_2 para mantener la actividad biológica en el agua residual y para evitar la proliferación indeseable de algas.

e) Demanda de Oxígeno:

i. *Demanda Biológica de Oxígeno (DBO):*

Es el parámetro de medida de contaminación orgánica más utilizado, ya que es aplicable tanto a aguas residuales como a aguas naturales.

El ensayo, de la DBO, se utiliza en muchos campos:

- Determinación de la cantidad aproximada de Oxígeno que se requeriría para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente.
- Dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales.
- Medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento.
- Controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos.

Este proceso de oxidación puede durar muchos días, en teoría infinitos, pero se admite como una medida muy aproximada a la real una incubación de 21 días a 20°C, donde se estima que se elimina del 95 al 99 por 100 de la materia carbonosa de tal

manera que obtengamos la DBO_{21} . Aún y así, por razones de tiempo, se trabaja con la DBO a 5 días, que no es tan aproximada como a 21 días, pero también es una buena referencia.

ii. *Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO5):*

Consiste en determinar la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica presente en el agua para procesos de tipo biológico. Para medirla se incubaba el agua problema en una estufa a 20 ° C y durante cinco días. Se mide el oxígeno antes y después de la incubación. La diferencia es el consumo de oxígeno. Agua limpia DBO <5 mg / l.

iii. *Demanda Química de Oxígeno (DQO):*

Es la cantidad de oxígeno necesario para oxidar por vía química la materia presente en el agua residual. Para medirla se utiliza un agente químico oxidante, como el dicromato potásico, que da muy buenos resultados, y a elevadas temperaturas y, si es necesario, con catalizadores para favorecer la reacción. A través del dicromato consumido en la oxidación, se calcula la demanda de oxígeno. Agua limpia DQO <30 mg /l.

La diferencia básica con la DBO está en que hay más compuestos que se oxidan por vía química que por vía biológica. Por lo tanto, los valores de DQO serán razonablemente más altos que los de DBO, hasta tal punto que se puede establecer una relación directa entre ambos parámetros; esto permite estimar un contenido de DBO con un tiempo de 3 horas (tiempo que dura el ensayo de la DQO) frente a los 5 días que tarda el primero.

iv. *Carbono Orgánico Total (COT):*

Sirve para muestras con poca cantidad de materia orgánica. La muestra se inyecta en un horno o en un medio químicamente oxidante. En presencia de un catalizador, el carbono orgánico se oxida a anhídrido carbónico, que se puede medir en el infrarrojo.

Se puede airear y acidificar la muestra para evitar el carbono inorgánico, pero a la vez la aireación puede interferir si hay mucha cantidad de compuestos orgánicos volátiles.

Es un ensayo de poca duración y su uso se está extendiendo cada vez más.

v. *Demanda Teórica de Oxígeno (DTeO):*

Si conocemos el contenido de la materia orgánica, es decir, la fórmula química que engloba a todas las sustancias orgánicas digeribles biológicamente, podemos llegar a saber el oxígeno que teóricamente contienen estas sustancias.

4.2.2.4. Indicadores Fisicoquímicos

a) **Sólidos:**

Hay diferentes criterios a la hora de determinar la presencia de sólidos en agua. Las unidades se expresan en mg/l.

i. *Sólidos en Suspensión Total (SST):*

Conjunto de sólidos, de naturaleza variada, que permanecen en suspensión.

Para determinarlos se filtra el agua con un filtro de fibra de vidrio, a una tamaño de poro y temperatura de secado determinados. Los SST es la diferencia del peso del filtro antes y después de pasar el agua.

ii. *Sólidos Suspendidos Volátiles (SSV):*

Este parámetro se relaciona con el total de materia orgánica presente en los SST.

Cuando ya se conocen los SST, se ponen a incinerar a 550 °C. Las sustancias volátiles se volatilizan, y permanecerán sólo las cenizas o las sustancias minerales no volátiles: La diferencia de peso entre los SST y los residuos no volátiles serán los SSV.

iii. *Sólidos Suspendidos Fijos (SSF) o cenizas:*

Este parámetro se relaciona con el total de materia inorgánica presente en los SST.

Son el peso de los residuos no volátiles a 550 °C, cenizas.

iv. *Sólidos Disueltos Totales (SDT):*

Cantidad de sólidos disueltos totales presentes en el agua:

Se miden mediante la desecación de un volumen conocido de muestra a 110 °C, una vez filtrados los SST. Posteriormente se pesa el residuo final.

4.2.3. Criterios de clasificación del agua

Después de haber repasado todos los tipos de contaminación que se pueden presentar en las aguas residuales veremos la clasificación de las aguas según sus parámetros indicadores.

En la siguiente tabla se expresan los parámetros que ha de cumplir un agua para poder ser clasificada dentro de los diferentes tipos de agua.

Cuadro 1. Clasificación del tipo de Agua según sus parámetros de contaminación.

| Tipus | Paràmetres principals | Usos |
|-------|--|---|
| 1 | T < 20°C O ₂ dissolt > 7 mg/l DBO ₅ < 3 mg/l DQO < 20 mg/l | Apta per a tots els usos |
| 2 | 20°C < T < 22 °C 5 mg/l < O ₂ dissolt < 7 mg/l 3 mg/l < DBO ₅ < 5 mg/l 20 mg/l < DQO < 25 mg/l | Aigua potable mitjançant tractaments Piscicultura Bany i esvarjo |
| 3 | 22°C < T < 25 °C 3 mg/l < O ₂ dissolt < 5 mg/l 5 mg/l < DBO ₅ < 10 mg/l 25 mg/l < DQO < 40 mg/l | Aigua per regar Aigua industrial Aigua potable mitjançant tractaments |
| 4 | 25°C < T < 30 °C Medi aerobi 10 mg/l < DBO ₅ < 25 mg/l 40 mg/l < DQO < 80 mg/l | Navegació Refrigeració |
| 5 | T > 30 °C Absència d'O ₂ dissolt DBO ₅ > 25 mg/l DQO > 80 mg/l | Cap ús |

CAPÍTULO 5: VERTIDO AL ALCANTARILLADO PÚBLICO

5.1. Vertido al alcantarillado público

Para empezar, decir que el reglamento de vertidos del Consorcio de Aguas estipula unos varemos de contaminantes admisibles para el vertido de las aguas en el lugar de origen. Estas limitaciones tienen por objeto proteger la red de alcantarillado público frente a deterioro físico (limitaciones Tipo I) o proteger los procesos de depuración y calidad del efluente final de las estaciones depuradoras (limitaciones Tipo II).

Cuadro 2. Limitaciones en los vertidos según el *Reglamento de Vertidos* del Consorcio de Aguas.

| Parámetro | Símbolo | Unidad | Limitación | |
|---|------------------------------|------------------------|------------|---------|
| | | | Tipo I | Tipo II |
| Temperatura | T | °C | 45 | 45 |
| pH | pH | — | 6:9,5 | 6:9,5 |
| Sólidos sedimentables | S.S.S. | mg/l | 600 | 600 |
| N - Amoniacal agresivo | N Agres | mg/l | 120 | 120 |
| N - Amoniacal | N - NH ₃ | — | — | 300 |
| Aceites y/o grasas (de origen animal y/o vegetal) | A y G | mg/l | 500 | 500 |
| Aceites minerales | — | mg/l | 50 | 50 |
| Cianuros totales | CN ⁻ tot. | mg/l | 2 | 2 |
| Sulfuros | S ⁻ | mg/l | 2 | 2 |
| Sulfatos | SO ₄ ⁻ | mg/l | 1.500 | 1.500 |
| Fenoles | — | mg/l | — | 50 |
| Arsénico | As | mg/l | — | 1,5 |
| Cadmio | Cd | mg/l | — | 1,5 |
| Tromo Total | Cr/Tot. | mg/l | — | 7,5 |
| Cobre | Cu | mg/l | — | 7,5 |
| Hierro | Fe | mg/l | — | 150 |
| Niquel | Ni | mg/l | — | 5 |
| Plomo | Pb | mg/l | — | 3 |
| Zinc | Zn | mg/l | — | 15 |
| Mercurio | Hg | mg/l | — | 1,5 |
| Plata | Ag | mg/l | — | 1 |
| Toxicidad | — | equitox/m ³ | — | 50 |

Las aguas residuales que no cumplan las limitaciones que para su vertido en la red de alcantarillado público se establecen en el Reglamento, habrán de ser objeto del correspondiente tratamiento previo por el usuario, de suerte que sea posible su evacuación a la red de alcantarillado público, si es el caso.

Las instalaciones necesarias para el pre tratamiento de estas aguas residuales formarán parte de la red de alcantarillado privada y se definirán suficientemente en la solicitud del permiso de vertido, a la que se acompañará el proyecto correspondiente y los estudios y cálculos justificativos de su eficacia.

Cuando excepcionalmente varios usuarios se unieran para efectuar conjuntamente el pre tratamiento de sus vertidos, deberán obtener un permiso de vertido para el efluente final conjunto, con declaración de todos los usuarios que lo componen. La responsabilidad del cumplimiento de las condiciones de vertido será de la comunidad de usuarios y solidariamente de cada uno de ellos.

En cualquier caso, el permiso de vertido quedará condicionado a la eficacia del pre tratamiento, de tal suerte que si él mismo no

produjere los resultados previstos, quedará sin efecto dicho permiso y prohibido el vertido de aguas residuales a la red de alcantarillado público.

5.2. Carga contaminante global

Usuarios Tipo A y B: Usuarios Domésticos y Comerciales.

Para estos usuarios la carga contaminante se obtendrá aplicando a los volúmenes abastecidos totales las concentraciones siguientes:

D.B.O.: 305 mg/l. (61 gr./hab./día).

D.Q.O.: 500 mg/l. (D.B.O./D.Q.O. = 0,61).

D.Q.O. no sedimentable: 350 mg/l.

S.S. totales: 450 mg/l. (90 gr./hab./día).

S.S. sedimentables: 292 mg/l.

Comp. Nitrogenados (NTK): 58 mg/l.

Materias inhibidoras: -

(Toxicidad): 0 equitox/m³

Usuarios Tipos C y D: Usuarios de Medianas y Grandes Industrias.

Para estos usuarios se tendrán en cuenta la carga contaminante de las aguas residuales de los procesos determinada por los procedimientos industriales usuales, tabulados a tal efecto:

Cuadro 3. Emisoras directas contaminantes inorgánicas en aguas clasificadas por actividad.

| | |
|--------------------------------|---|
| Arsénico y sus compuestos | Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (22%) Industria química inorgánica de base o fertilizantes (20%) Producción de cemento y materiales cerámicos (18%) Plantas de procesamiento de residuos peligrosos (10%) |
| Cadmio y sus compuestos | Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (66%) |
| Cloruros | Plantas de combustión (40%) Industria química inorgánica de base o fertilizantes (30%) Industria Química Orgánica de base (20%) |
| Cromo y sus compuestos | Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (87%) |
| Cobre y sus compuestos | Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (23%) Industria química inorgánica de base o fertilizantes (18%) Industria Química Orgánica de base (12%) Plantas de combustión (12%) |
| Cianuros | Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (80%) Industria Química Orgánica de base (10%) |
| Fluoruros | Industria química inorgánica de base o fertilizantes (54%) Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (22%) Industria Química Orgánica de base (17%) |
| Plomo y sus compuestos | Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (40%) Industria química inorgánica de base o fertilizantes (15%) Industria Química Orgánica de base (12%) Refinerías de petróleo y gas (12%) |
| Mercurio y sus compuestos | Industria química inorgánica de base o fertilizantes (31%) Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (18%) Industria Química Orgánica de base (14%) |
| Níquel y sus compuestos | Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (44%) Industria química inorgánica de base o fertilizantes (13%) Industria Química Orgánica de base (13%) |
| Compuestos orgánicos de estaño | Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (86%) |
| Fósforo | Industria química inorgánica de base o fertilizantes (25%) Industria Química Orgánica de base (22%) Industria de la madera y papel (18%) Industrias lácteas, mataderos y otras (13%) |
| Zinc y sus compuestos | Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (33%) Industria Química Orgánica de base (23%) Industria química inorgánica de base o fertilizantes (16%) Industria de la madera y papel (11%) |

Cuadro 4. Emisoras directas contaminantes orgánicas en aguas clasificadas por actividad.

| | |
|--|---|
| Benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (BTEX) | Industria Química Orgánica de base (56%) Industrias del petróleo y del gas (17%) Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (11%) |
| Cloroalcanos | Industria química inorgánica de base o fertilizantes (100%) |
| Orgánicos halogenados (AOX) | Instalaciones para la producción de pasta de papel (86%) |
| Compuestos organoestánicos | Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (86%) Industria Química Orgánica de base (11%) |
| 1,2,-Dicloroetano (DCE) | Productos químicos orgánicos de base (63%) Productos químicos inorgánicos de base o fertilizantes (36%) |
| Diclorometano (DCM) | Productos químicos orgánicos de base (48%) Industria farmacéutica (30%) |
| Bromuro de difeniléter | Instalaciones para pretratamiento de fibras o textiles (100%) |
| Dioxinas y furanos | Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (41%) Instalaciones de combustión (19%) Productos químicos orgánicos de base (17%) Instalaciones para eliminación de residuos peligrosos (15%) |
| Fenoles | Productos químicos orgánicos de base (47%) Refinerías de petróleo y de gas (23%) Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (11%) |
| Hexaclorobenceno (HCB) Hexaclorobutadieno (HCBd) Hexaclorciclohexano (HCH) | Productos químicos orgánicos de base (~90%) |
| Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH) | Tratamiento de superficies con disolventes orgánicos (33%) Refinerías de petróleo y de gas (27%) Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (21%) Productos químicos orgánicos de base (13%) |
| Hidrofluorocarburos (HFC) | Productos químicos inorgánicos de base o fertilizantes (48%) Productos químicos orgánicos de base (41%) |
| Pentaclorofenol (PCP) | Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (100%) |
| Perfluorocarburos (PFC) | Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (82%) |

| | |
|-----------------------------|--|
| Tetracloroetileno (PER) | Tratamiento de superficies con disolventes orgánicos (43%) Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (26%) Productos químicos orgánicos de base (12%) Productos químicos inorgánicos de base o fertilizantes (12%) |
| Tetraclorometano (TCM) | Productos químicos orgánicos de base (93%) |
| Triclorobencenos (TCB) | Productos químicos orgánicos de base (56%) Productos químicos inorgánicos de base o fertilizantes (44%) |
| 1,1,1-Tricloroetano (TCE) | Productos químicos inorgánicos de base o fertilizantes (100%) |
| Tricloroetileno (TRI) | Industrias del metal e instalaciones de calcinación y sinterización de minerales metálicos (32%) Productos químicos orgánicos de base (31%) Tratamiento de superficies con disolventes orgánicos (24%) |
| Triclorometano (Cloroformo) | Productos químicos orgánicos de base (43%) Productos químicos inorgánicos de base o fertilizantes (40%) Industria farmacéutica (15%) |

La carga contaminante de las aguas de servicios se determinará asignando a una dotación de 50 l./empleado/día las concentraciones que se establecen en la tabla para cada proceso en donde desarrolle su labor el empleado.

Las aguas pluviales, en principio, se considerarán como aguas no contaminadas. No obstante estarán sometidas a control. El usuario tendrá en cuenta la aplicación de medidas preventivas que garanticen la ausencia de contaminación apreciable.

5.2.1. Actualización de la Carga Contaminante

El Consorcio o Ayuntamiento, una vez efectuada la caracterización de los vertidos de un usuario, realizará un control de los mismos de forma periódica con dos objetivos:

- Comprobar el cumplimiento de las condiciones de vertido.
- Aportar datos sobre la evolución de la carga contaminante.

La actualización de la carga contaminante se hará con una periodicidad semestral calculando la media aritmética de los datos obtenidos durante el semestre.

Cuando en una serie de resultados haya alguno que a juicio del Consorcio o Ayuntamiento sea atípico, será excluido del cálculo, pudiendo decidirse otro muestreo sustitutivo:

5.3. Cálculo de la población equivalente

Una vez estipulados los límites de vertido y carga contaminante permitida para cada tipo de usuario se podrá calcular la población equivalente y, por lo tanto, hacer previsiones del agua que se va a tener que tratar, para, de esta forma, poder ser previsores y cambiar aspectos de la EDAR según sea necesario.

La determinación de la población equivalente se hará tomando como base la contaminación tipo del vertido doméstico, de acuerdo con los siguientes valores por habitante:

MO = materia oxidable = 0,1 kg/día en DQO.

MES = materia en suspensión = 0,09 kg/día en SST

CN = Compuestos nitrogenados = 0,0116 kg/día en N-NTK

MI = Materia Inhibidora = 0,00 kg equitox/día/toxicidad.

De acuerdo con estas cargas se define el valor de referencia según la siguiente expresión:

$$R = 0,1 + 0,09 + 0,0116 = 0,2016.$$

En el vertido industrial a definir se determinarán los mismos parámetros usados anteriormente (en kg/día) y se obtendrá la población equivalente «m» según la expresión siguiente:

$$m = \frac{MO \text{ (kg./día)} + MES \text{ (kg./día)} + CN \text{ (kg./día)} + 10 \times MI \text{ (K equitox/día)}}{0,2016}$$

CAPÍTULO 6:

OBJETIVO DE LA

DEPURACIÓN

A medida que la población y la industria han ido creciendo se ha roto el equilibrio existente en el ciclo hídrico, por el cual las aguas explotadas por el ser humano se autodepuraban y, de esta forma, no había contaminación grave.

La ruptura de este equilibrio ha supuesto la contaminación de acuíferos, ríos, lagos y mares, así como, de las aguas subterráneas, por filtración de lixiviados.

Este fenómeno ha supuesto una contaminación de los recursos hídricos, la cual ha desencadenado una serie de problemas que se enumeran a continuación:

- Destrucción de los limitados recursos hídricos dulces.
- Disminución de la calidad del agua para el uso humano.
- Supresión del poder autoregenerador de los cauces receptores de los vertidos con destrucción de su fauna, flora, convirtiéndolos en inservibles para su uso.

- Es un peligro potencial para la salud, el que las aguas estén contaminadas, siendo, directamente, fuente de problemas económicos y sociales.

Para evitar las desastrosas consecuencias, anteriormente expuestas, es necesaria una depuración de las aguas usadas por el hombre, para preservar el medioambiente y mantener, y/o aumentar la calidad de vida del ser humano, de la flora y de la fauna.

6.1. Objetivo de la depuración

El principal objetivo de los diversos tratamientos de las aguas residuales, es conseguir un efluente con tales características que no cause ningún perjuicio al caudal receptor, o dado el caso, que se adecue al uso para el que será destinado.

Por tanto, es de esperar, que dependiendo del tipo de agua residual y del cauce receptor o finalidad a la que se destinen las aguas tratadas se hayan de aplicar tratamientos más o menos estrictos, lo cual, se traduce en una mayor o menor presencia de contaminantes.

Los parámetros de contaminación se encuentran regulados por la normativa directiva de la Unión Europea 98/15/CE que es aplicada en los países miembros con las leyes que la adoptan, en el caso de España esta ley es introducida al derecho nacional por varios decretos reales y, en cada autonomía modificada a las condiciones propias de la zona. Hay que recordar que en ningún caso la directiva europea se ablanda y que según va bajando en el orden de zona provincial dentro del Estado, más restrictiva se va haciendo la ley.

6.2. Objetivos de una EDAR

1. Eliminación de residuos, aceites, grasa, flotantes o arenas y evacuación a punto de destino final adecuado.
2. Eliminación de materias decantables orgánicos y/o inorgánicos.

3. Eliminación de compuestos amoniacales y que contengan fósforo.
4. Transformar los residuos retenidos en fangos estables y que éstos sean correctamente dispuestos.

6.3. Eficacia de un proceso de depuración

La eficacia de un proceso de tratamiento se expresa en términos de:

- Porcentaje de disminución de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) consumido por los microorganismos para la oxidación de materia orgánica e inorgánica.

"Cuanto mayor es el nivel de materiales oxidables orgánicos e inorgánicos, más elevada es la DBO y peor es la calidad del agua"

- Una planta de tratamiento de aguas residuales que funcione bien, puede eliminar el 95% o más de la DBO inicial.

CAPÍTULO 7: ÍNDICE DE LOS PROCESOS DE DEPURACIÓN

Los procesos de depuración, que en sucesivos capítulos se definirán meticulosamente, se realizan en procesos sucesivos de tal manera que cada cual tiene un objetivo básico para que el siguiente proceso suceda con todas las garantías.

En la EDAR tendremos tres líneas de trabajo

- Línea de aguas
- Línea de fangos
- Línea de gas (la cual no trataremos en el presente proyecto)

LÍNEA DE AGUAS

Pretratamiento:

- Desbaste o tamizado (separación de sólidos gruesos y finos)
- Dilaceración (trituration de sólidos de gran medida)
- Desarenado (separación de las arenas)
- Desengrasado (separación de las grasas y de los aceites)

Tratamiento primario:

- Decantación primaria (separación de sólidos sedimentables y/o en suspensión)

Tratamiento secundario:

- Coagulación (mediante aireación)
- Decantación secundaria (separación de materia orgánica floculada)
- Eventualmente cloración

Tratamiento Terciario:

- Eliminación de nitrógeno y fósforo
- Desinfección
- Eliminación de sólidos en suspensión

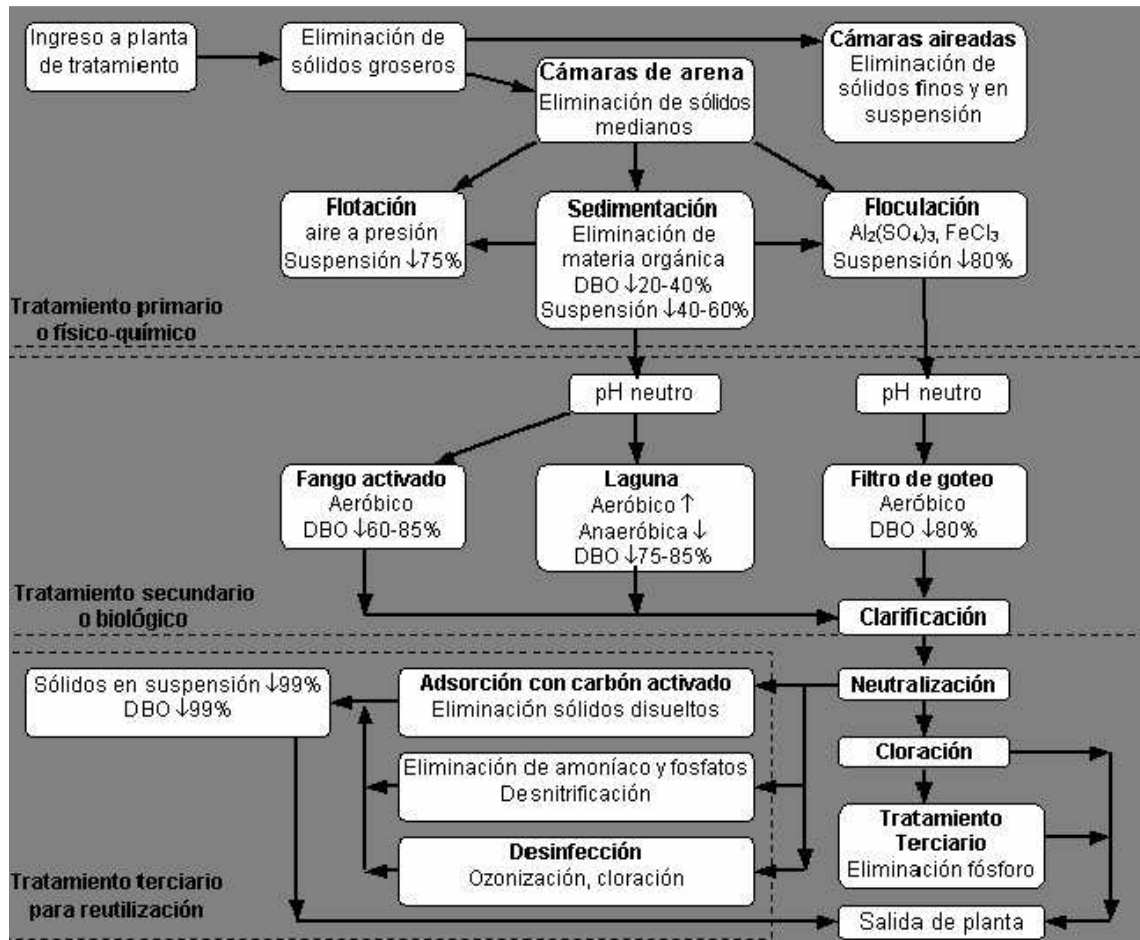


Ilustración 2. Esquema de proceso de la línea de aguas.

LÍNEA DE FANGOS

- Concentración o espesamiento
- Digestión
- Acondicionamiento
- Secado
- Incineración y/o Eliminación

LÍNEA DE GAS

- Producción de Metano

CAPÍTULO 8:

MEDIDAS

DE CAUDAL

Un aspecto que tiene mucho a ver con la eficacia de una estación depuradora, es la correcta selección, uso y mantenimiento de todos los aparatos de medidas de caudal. Los aparatos de medida de caudal constan de dos partes: un sensor o detector, y un dispositivo convertidor. El primero se ve afectado por el flujo, y el segundo es el que traduce la señal, o la lectura, desde el sensor hasta el elemento en el que se registran o se leen las medidas.

8.1. Tipos de aparatos de medida

Hay diversos aparatos que miden el caudal, tanto en canales como en conducciones a presión.

- *Flujo en lámina libre*: La determinación del caudal se hace midiendo la pérdida de carga, según la ley de Bernouilli, generada

por la introducción de una obstrucción en la conducción, como un estrangulamiento o una placa, o por la medida de la sección mojada y de la velocidad de flujo. El más utilizado es el canal Parshall.

- *Conducciones en carga*: Las tres técnicas más utilizadas son la introducción de una obstrucción para crear una pérdida de carga o diferencial de presión (tubos de pitot, tubos de flujo, rotámetros, orificios y venturímetros), la medida de los efectos que provoca el fluido en movimiento (ondas de sonido, campos magnéticos, etc. , por lo tanto los aparatos serán magnéticos, ultrasónicos y dispositivos de vortex) y la medida de unidades que incrementan el volumen de fluido (medidores de turbina o de hélice).

8.2. Mantenimiento

Para asegurar la fiabilidad del funcionamiento de los aparatos de medida es esencial que la limpieza, mantenimiento y calibrado sea correcto, así como un registro de los datos. En el caso de la medida de caudales de fangos, donde las medidas se hacen intermitentes, se tiene que poder limpiar el aparato y sus conducciones a presión y llenarlas de nuevo con agua limpia. Hay aparatos que se pueden auto limpiar in situ, sin necesidad de parar el proceso.

La calibración de los aparatos de medida de caudal los realizará el fabricante, de éste, periódicamente.

8.3. Solución adoptada

8.3.1 Caudalímetro Electromagnético

Los caudalímetros electromagnéticos constituyen un sistema sin partes móviles.

No ocasionan ninguna restricción en la circulación y por lo tanto la pérdida de carga es irrelevante.

Debido a su principio de funcionamiento, basado en la ley de Faraday, posibilitan mediciones precisas y confiables.

Gracias a su revestimiento interno y a la elección del material de los electrodos, es posible su empleo con fluidos corrosivos o con sólidos en suspensión.

Su utilización está muy difundida en las industrias químicas, papeleras, alimenticias y en las empresas de servicios públicos con aguas potables y efluentes de todo tipo, nuestro caso.

Está basado en el mismo principio que el generador eléctrico, cumple con la mencionada ley de Faraday:

"En un conductor eléctrico que se desplaza a través de un campo magnético, se induce una tensión que es directamente proporcional a la velocidad del conductor, y a la magnitud de campo magnético".

La tensión E , que aparece en los electrodos:

$$E = K \cdot B \cdot D \cdot V$$

Pero como $Q = V \cdot A$ (velocidad por área del conducto, que es el caudal)

$$Q = E \cdot \left(\frac{A}{K \cdot B \cdot D} \right)$$

Como todos los parámetros entre paréntesis, son constantes, los valores para un diseño dado:

$$Q = E \cdot K$$

El caudal es, entonces, proporcional a la fuerza electromotriz generada. Los únicos requisitos básicos ineludibles que debe cumplir el fluido son:

- Conductividad: $> 5 \mu S/cm$
- Velocidad: $0,3 m/s < V < 10 m/s$ del fluido.

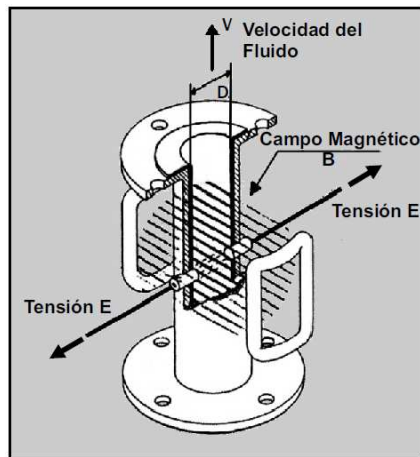


Ilustración 3. Esquema de funcionamiento de un caudalímetro electromagnético.

Se escoge este tipo de caudalímetro por su gran fiabilidad y versatilidad. Se pondrán un total de 10 caudalímetros electromagnéticos repartidos de la siguiente manera: a la entrada de la planta, a la entrada de la decantación secundaria, a la entrada del reactor biológico, a la salida del tratamiento terciario, a la recirculación de fangos, a las purgas de los fangos, a los espesantes y a las centrífugas.

CAPÍTULO 9:

LÍNEA DE AGUAS.

PRETRATAMIENTO

El pretratamiento elimina del agua residual aquellas materias que pueden obstruir las bombas y canalizaciones, o bien interferir en el desarrollo de los procesos posteriores.

Con el pretratamiento se elimina la parte de polución más visible: cuerpos voluminosos, trapos, palos, hojas, arenas, grasas.... que llegan flotando o en suspensión desde los colectores de entrada.

El agua se introduce en la planta mediante un aliviadero. Éste suele disponer de un gran volumen, para que, en caso de sobrecarga, se pueda contener un volumen de agua suficiente para que no se produzca una saturación y/o un desbordamiento.

También, en zona de muchas lluvias, como la que nos atañe existe la posibilidad de disponer de tanques de tormenta, piscinas de gran capacidad volumétrica en donde retener las aguas de lluvia, las cuales serán reintroducidas en el proceso de depuración progresivamente tras las precipitaciones.

Una línea de pretratamiento convencional consta de las etapas de:

- Desbaste, para la eliminación de las sustancias de medida excesivamente grande.
- Desarenado, por eliminación de arenas y sustancias sólidas densas en suspensión.
- Desengrasado, por eliminación de los diferentes tipos de grasas y aceites presentes en el agua residual, así como de elementos flotantes.

Siendo sus elementos:

Tabla 3. Elementos del Pretratamiento.

| Elementos de Pretratamiento | Su función es: |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| Aliviadero | Ajustar el Q de entrada |
| Desbaste por rejás | Eliminar sólidos de cierto tamaño |
| Desbaste por tamizado | Retener materias que cierto tama |
| Medidor de caudal (CAP. 8) | Controlar el Q de entrada |
| Desarenadores | Eliminar arenas |
| Pre-decantación | 1ª Separación de arenas y fangos |
| Desengrasadores | Eliminar grasas |

9.1. Aliviadero

Sirve para evacuar el exceso de caudal del máximo calculado para el correcto funcionamiento de la planta.

El agua de lluvia recogida a los 10-15 minutos del inicio de la precipitación está tan contaminada como el agua residual de tipo medio, a partir de los 20-30 minutos, esta lo está como agua residual diluida.

Esto hace pensar en la construcción de depósitos de retención por tiempo de permanencia de 20 a 30 minutos, que recogen las primeras aguas de la lluvia con contaminación alta. Cuando se acaben las precipitaciones, el volumen retenido en estos depósitos se introduce gradualmente en la depuradora para un correcto funcionamiento.

Si no existe el depósito de retención, el estudio del coeficiente de dilución estará en función directa del tipo de red de saneamiento (secciones, pendientes, sistema de limpieza) y de las características de la cuenca receptora.

$$x = \frac{\text{Aguas Negras} + \text{Aguas Blancas}}{\text{Aguas Negras}}$$

La recomendación del valor de este coeficiente de dilución, será de 3-4 en el caso de un aliviadero previo para el pretratamiento, de 2,4 antes de la depuración física y de 1,8 en el caso de la depuración biológica. Si solamente se coloca uno, a la entrada de la planta, este coeficiente oscilará entre 2-3.

Pero en nuestro caso se dispondrá de 12 piscinas de gran capacidad que, en normal funcionamiento de la planta, sólo serán utilizadas 6-8 para el desarenado-desengrasado y 4-6 quedarán como "Tanques tormenta".

9.2. Desbaste por rejás

El desbaste inicial se lleva a cabo mediante rejás formadas por barras verticales o inclinadas, que interceptan el flujo de la corriente de agua residual en un canal de entrada a la estación depuradora.

Su misión es retener y separar los sólidos más voluminosos, a fin de evitar las obstrucciones en los equipos mecánicos de la planta y facilitar la eficacia de los tratamientos posteriores.

Indirectamente también se consigue reducir la cantidad de O₂ necesaria para la depuración

La instalación de rejillas de desbaste es indispensable para toda depuradora, retirando el máximo de impurezas del agua por su eliminación directa, compactada o no, en vertederos de residuos sólidos, o por incineración.

9.2.1. Tipos de Rejas

- Según la ***inclinación de las rejillas*** podemos distinguir entre: Horizontales; Verticales; Inclinadas y Curvas.
- Según la ***separación entre fangotes*** podemos distinguir entre:
 - *Desbaste Fino*: <15 mm de separación libre entre barras.
 - *Desbaste Medio*: 15 – 50 mm.
 - *Desbaste Grueso*: 50 – 150 mm.

Las de desbaste medio son las más utilizadas, ya que retienen la mayoría de elementos que no son eliminados por sedimentación.

El uso de las rejillas ha de ser decreciente, es decir, su colocación en el proceso ha de ir desde las de desbaste grueso a las de fino y no al revés.

La separación óptima será aquella que logre una recogida de residuos del 50% del total en cada una de ellas.

- ***Limpieza de las rejillas***

Se pueden utilizar procedimientos manuales o automáticos, según la importancia de la estación y la cantidad de materias retenidas. En instalaciones pequeñas, lo más adecuado es utilizar rejillas inclinadas con limpieza mecánica. El automatismo del sistema limpiador puede ser regulado con intervalo a tiempo fijo o con intervalo de tiempo modificado según la obstrucción de la rejilla.

Si la rejilla es automática, con un intervalo a tiempo modificado según la obstrucción de la rejilla, lleva un motor de accionamiento del aparato de limpieza, gobernado por un control eléctrico, que actúa en función de las diferencias de nivel entre la superficie del líquido aguas arriba y aguas abajo de la rejilla. Esta diferencia de

nivel aumenta con las retenciones de sólidos, y cuando llega a un valor señalado por el hombre (5-10 cm) se cierra el circuito, poniendo en marcha el motor.

Este tipo de automatismo tiene unas ventajas:

- Tiene un funcionamiento limpiador, sólo cuando es necesario.
- Ahorra energía.
- Consigue una mayor parte de materia retenida.
- La máquina tiene un menor desgaste.

Pero el automatismo fijo, tiene la gran ventaja de lo sencillo y barato de su funcionamiento, y no es necesario personal especializado para su mantenimiento. Esto, unido a que, graduando la duración del ciclo de limpieza dependiendo de las características especiales del agua residual tratada, se obtienen buenos resultados. Esto motiva su gran uso en instalaciones actuales.

9.2.2. Recomendaciones del Diseño de Rejas

Estas recomendaciones se han conseguido observando y experimentando con instalaciones ya existentes.

Recomendaciones:

a) *Separación entre barras*

Normalmente se coloca una serie de rejas de desbaste grueso, seguido de desbaste medio y fino.

La separación entre barras será de 50-100 mm en el caso de desbaste grueso y de 20-30 mm en el caso de separación media.

La separación óptima será aquella que logre una recogida de residuos del 50% del total en cada una de ellas.

b) *Número de rejas*

Viene determinado por el tipo y características de ellas mismas, así como por la seguridad exigida en el caso de que alguna unidad quedara fuera de servicio.

c) Velocidad de paso del agua residual

Está doblemente condicionada: en el fondo, para la posible sedimentación de arenas y cuerpos densos; y en la superficie por la posibilidad de que el material retenido sea arrastrado por el agua pasando las barras.

Hace falta distinguir la velocidad de aproximación " v_c " y de paso " v_r ".

- Babbitt – Baumann

$$v_c \geq 0,60 \text{ m/s (sistema unitario)}$$

$$v_c \geq 0,30 \text{ m/s (sistema separador)}$$

- Comité Conjunto de Ingenieros de Sanidad Pública de la Cuenca Superior del Misisipi.

$$v_r(Q_m) = 0,30 \text{ m/s (limpieza manual)}$$

$$v_r(Q_{11}) \leq 0,75 \text{ m/s (limpieza mecánica)}$$

- Barnes: $v_r \leq 1 \text{ m/s}$

- Steel: $v_r \leq 0,9 \text{ m/s}$

- Imhoff

$$v_r \leq 0,90 \text{ m/s (desbaste grueso)}$$

$$v_r \leq 0,70 \text{ m/s (desbaste medio)}$$

- Guerree: $v_c > 0,60 \text{ m/s}$

- Imhoff – Fair: $v_r(Q_{11}) \leq 0,75 \text{ m/s}$

- A. Hernández

$$v_r(Q_m) = 0,60 \text{ m/s}$$

$$v_r(Q_{11}) \leq 1 \text{ m/s (con limpieza a favor de corriente)}$$

$$v_r(Q_{11}) \leq 1,2 \text{ m/s (con limpieza en contra corriente)}$$

9.3. Desbaste por Tamices

Afinando el proceso de eliminación de residuos sólidos, se llega a utilización de tamices. El proceso es estrictamente físico y permite sustituir en muchos casos los desbastes, la eliminación de arenas grandes y hasta porcentajes del 30% de grasas y sobrantes. También se busca un sistema sencillo autolimpiable,

Los primeros eran de tipo circular o de disco, equipados por una placa de bronce perforada con aberturas en forma de ranuras de 3mm o inferiores. Ya no se utilizan. Los modernos son de tipo estático (fijo) o de tambor giratorio, previstos de una malla fina de acero inoxidable o de un material no férreo. Normalmente la luz de malla de los tamices oscila entre 0,2 y 6 mm.

Los tamices estáticos de malla en sección de cuña, tienen aberturas de 0,2 y 1,2 mm, se diseñan para caudales de entre 400 y 1200 l/m²Smin de superficie de tamiz, y generan perdidas de carga de entre 1,2 y 2,1 m. La malla filtrante está formada por pequeñas barras de acero inoxidable en sección de cuña orientadas de forma que la parte plana de aquella sea perpendicular al flujo. Por su instalación, necesitan una superficie grande, y se tienen que limpiar 1 ó 2 veces al día con agua caliente a presión, vapor o con un agente desengrasador, para eliminar las acumulaciones de grasa.

En los tamices de tambor, la malla se monta sobre el cilindro giratorio que se coloca en un canal. Existen diferentes esquemas constructivos, especialmente en lo que se refiere a la dirección de flujo a través de la malla del tamiz. El agua residual puede circular, entrando por un extremo del tambor y saliendo del mismo a través de la malla filtrante, recogándose los sólidos en la superficie interior de esta, o también entrando por la parte superior del elemento y saliendo del mismo por el interior del tambor, produciéndose la recogida de sólidos en la superficie exterior del tamiz. Se utiliza una malla con ranuras o con sección de cuña construida con acero inoxidable como medio separador. En el diseño se tiene en cuenta la evacuación en continuo de sólidos retenidos, operación que se complementa con el riego con agua para mantener limpio el medio separador. Las pérdidas de carga producidas en los tamices pueden

oscilar entre 0,8 y 1,4 m. Los tamices de tambor están disponibles en diversas medidas, con diámetros variables entre 0,9 y 1,5 m y longitudes que van desde 1,2 a 3,7 m.

9.3.1. Eficacia de los Tamices

La cantidad y características de los residuos extraídos dependen del tipo de reja o tamiz utilizado, de la medida de las aberturas de la reja o tamiz, del tipo de red de saneamiento, y de la situación geográfica de la instalación. En ausencia de datos sobre la cantidad de residuos producidos, se puede estimar a partir de tablas confeccionadas a tal fin. En plantas de tratamiento que reciben aguas de redes de saneamiento unitarias, se ha observado que la cantidad de residuos recogidos aumenta considerablemente en épocas de lluvia. La cantidad de residuos separados en tamices varía notablemente, oscilando entre 0,0375 y 0,225 m³/10³ m³ o más, equivalente a porcentajes variables entre el 5 y el 15 % de la materia en suspensión.

9.3.2. Eliminación de los residuos

Existen varios medios para eliminar los residuos recogidos:

1. Transporte a vertederos (el más común)
2. Enterramiento en la propia planta(plantas pequeñas)
3. Incineración, aislada o conjuntamente con fangos y arenas (plantas grandes)
4. Eliminación conjunta con residuos sólidos urbanos
5. Descarga de trituradores, donde se trituran y se reintegran al agua residual (Dilaceración).

Se tiene que estabilizar los residuos con cal antes de llevarlos al vertedero. La eliminación de estos residuos en la propia planta, sólo se hará si se cumplen las normas medioambientales. La trituración de los residuos tiene los mismos inconvenientes que los dilaceradores. Los trituradores de residuos necesitan un alto nivel de mantenimiento.

9.4. Medidor de caudal

El caudalímetro elegido para nuestra planta y su descripción, así como, ventajas en su uso vienen detalladas en el CAPÍTULO 8.

9.5. Desarenado

La eliminación de arenas se puede efectuar con desarenadores o mediante la centrifugación de fango. Los desarenadores se proyectan para separar las arenas presentes en el agua residual.

9.5.1. Característica de las arenas

Las arenas consisten en arena, grava, cenizas, y otros materiales pesados con pesos específicos o velocidades de sedimentación considerables superiores a los sólidos sedimentables. Al margen de estos materiales, la arena también incluye cáscara de huevos, trozos de hueso, semillas, granos de café y partículas orgánicas de gran tamaño como residuos de comida. Generalmente la fracción que se elimina es bastante inerte y relativamente seca. Pero, la composición de las arenas puede ser muy variable entre el 13 y el 65 %, y un contenido volátil entre el 1 y el 56 %. El peso específico de la arena limpia, llega a valores del orden de 2,7 si el contenido de materia inerte es elevado, pero puede ser tan bajo como 1,3 si existe una importante cantidad de materia orgánica adherida a la materia inerte. Para caracterizar las arenas, se suele utilizar una densidad global de 1600 kg/m^3 . Con frecuencia, las arenas contienen una cantidad de materia orgánica tal, que si no se procede a su lavado después de ser separadas, entran en estado de putrefacción. La mayor parte de los problemas que se dan en los procesos situados aguas abajo de los desarenadores, son por culpa de las partículas de arena mayores de 0,2mm de diámetro.

La distribución real de las medidas de las partículas de arena retenidas, presenta variaciones debido a las diferencias de las características de las redes de saneamiento, así como las variaciones en la eficiencia de eliminación de arenas.

Generalmente, la mayor parte de las arenas quedan retenidas en un tamiz número 100 (0,15 mm de diámetro), llegando a ocasiones al 100% de retención. Pero hay zonas en las que puede ser más fina y con esta medida de tamiz no es suficiente.

9.5.2. Desarenadores

El objetivo de esta operación es eliminar todas aquellas partículas de granulometría superior a 200 micras, con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones, para proteger las bombas y otros aparatos contra la abrasión, y para evitar sobrecargas en las fases de tratamiento siguiente.

En caso de que sea necesario un bombeo y desbaste deben ir antes del desarenado. Hay veces que es conveniente situar el bombeo previo al desarenado aún a costa de un mayor mantenimiento de las bombas. Esto ocurre cuando los colectores de llegada están situados a mucha profundidad, cuando el nivel freático está alto, etc.

Los cálculos teóricos para el diseño de un desarenador están relacionados con los fenómenos de sedimentación de partículas granuladas no floculantes. Las velocidades de sedimentación se pueden calcular utilizando diversas fórmulas:

- Stokes, en régimen laminar
- Newton, en régimen turbulento
- Allen, en régimen transitorio

A cualquiera de estas fórmulas hay que aplicarle una serie de correcciones que tengan en cuenta:

- La forma de las partículas o factor de esfericidad
- La concentración de sólidos en suspensión, si sobrepasan el 0,5%
- La velocidad de flujo horizontal

En la siguiente tabla podemos comprobar cómo varía la velocidad de sedimentación en función del diámetro de la partícula:

Tabla 4. Velocidades de sedimentación en función del diámetro de partícula.

| Diámetro de Partículas (mm) | Velocidad de sedimentación (m/h) |
|-----------------------------|----------------------------------|
| 0,150 | 40 – 50 |
| 0,200 | 65 – 75 |
| 0,250 | 85 – 95 |
| 0,300 | 105 – 120 |

En cuanto al cálculo de las dimensiones de un desarenador:

- Su superficie horizontal se calcula en función de la velocidad de sedimentación de las partículas de menor tamaño que deben retenerse y del caudal máximo que circulará por el mismo. $F(d_p, Q_{\max})$
- Su sección transversal es función de la velocidad horizontal de flujo deseada.

Los desarenadores se diseñan para eliminar partículas de arenas de tamaño superior a 0,200 mm y peso específico medio de 2,65; obteniéndose un porcentaje de eliminación del 90%. Si el peso específico de la arena es bastante menor de 2,65; deben usarse velocidades de sedimentación inferiores a las anteriores. El tiempo de residencia aumenta.

Pero en esta operación eliminamos también otros elementos de origen orgánico no putrescibles como granos de café, semillas, huesos, cáscaras de frutas y huevos..., que sedimentan a la misma velocidad que las partículas de arena y cuya extracción no interesa.

Este problema se evita con el llamado *Barrido o Limpieza de Fondo*. Se explica por el hecho de que existe una velocidad crítica del flujo a través de la sección, por encima de la cual las partículas de un tamaño y densidad determinadas, una vez sedimentadas, pueden volver a ser puestas en movimiento y reintroducidas en la corriente. Teóricamente, para partículas de 0,200 mm de diámetro y peso específico 2,65, la velocidad crítica de barrido es de 0,25 m/s aunque en la práctica se adopta a efectos de diseño una velocidad de 0,30 m/s. Con esta velocidad se considera que las arenas extraídas salen con un contenido en materia orgánica inferior al 5%.

Hay varios tipos de desarenadores: de flujo horizontal, de diseño horizontal o cuadrado, aireados y de vortex.

9.5.2.1. Desarenadores de Flujo Horizontal

Tanto en los desarenadores rectangulares como los cuadrados, el agua circula a través del elemento en dirección horizontal y la velocidad de circulación se controla por la propia geometría de la unidad.

El desarenador cuadrado es el más antiguo de todos. Estas unidades se proyectan de forma que se mantenga la velocidad lo más al borde posible de 0,3 m/s, y que proporcione el tiempo suficiente para que

sedimenten las partículas de arena en el fondo del canal. La velocidad de diseño indicada permite la circulación a través de la unidad de la mayor parte de la materia orgánica y pone en suspensión todas las partículas orgánicas que hayan sedimentado, pero permite la sedimentación de las arenas pesadas.

Se debe realizar el cálculo de los desarenadores de flujo horizontal utilizando las condiciones más adversas posibles, de forma que la partícula de arena más ligera, llegue al fondo del canal antes de llegar al extremo de este. Pero normalmente se diseñan para sedimentar partículas de arena que queden retenidas en un tamiz de malla 65 (diámetro 0,21 mm) y hasta mallas de 100 (diámetro 0,15 mm). La longitud del canal vendrá dada por la profundidad que necesita la velocidad de sedimentación y la sección de control, y la superficie de la sección transversal vendrá impuesta por el caudal y por el número de canales. Con respecto a la longitud del canal se deberá prever un incremento mínimo del 50% de la longitud teórica prevista, puesto que se deberá prever una turbulencia en la entrada y salida del canal.

La extracción de las arenas se realiza con un mecanismo transportador dotado de rasquetas. La elevación de las arenas para su posterior limpieza, se realiza mediante tornillos o elevadores. Si la planta depuradora es pequeña, esta limpieza se suele realizar manualmente.

Con respecto a los desarenadores cuadrados de flujo horizontal, estos se han venido utilizando desde hace 60 años. El afluentes se distribuye en la sección transversal del canal mediante una serie de compuertas o deflectores, y el agua residual distribuida circula a través del tanque siguiendo una trayectoria recta hasta salir libremente por un vertedero. Es recomendable utilizar un mínimo de dos unidades, o disponer de un bypass temporal. Estos desarenadores se construyen en función de la carga superficial, que depende de la medida de las partículas y de la temperatura del agua residual. Estos se construyen de forma que puedan eliminar el 95 % de las partículas retenidas en un tamiz número 100 (diámetro 0,15 mm), en condiciones de caudal punta.

En los desarenadores cuadrados, los sólidos son conducidos a una cuenca situada a un lado del tanque mediante un mecanismo de rasquetas. Las arenas sedimentadas se extraen con un mecanismo transportador – clasificador constituido por una rampa provista de un rastrillo oscilante o por un bombeo desde el tanque a un ciclón para la separación de la materia orgánica de la arena concentrada... La arena se puede someter a un proceso de limpieza con una clasificadora oscilante o con un tornillo transportador inclinado.

Ambos métodos consiguen separar la arena de los sólidos orgánicos, que se devuelven al tanque desarenador, con lo que se consigue una arena más limpia y seca.

9.5.2.2. Desarenadores Aireados

Se descubrieron acumulaciones de arena en los tanques de aireación de flujo en espiral, precedidos por desarenadores, lo cual hizo que se idearan los desarenadores aireados. Sin duda, el excesivo desgaste de los equipos de manipulación de la arena, y la frecuente necesidad de un equipo independiente de limpieza de esta, motivaron la actual popularidad de este tipo de desarenadores.

Se calculan para eliminar partículas de medida de tamiz número 65 (diámetro 0,21 mm) o superior, con tiempo de retención de entre 2 y 5 minutos en condiciones de caudal punta. La sección transversal es similar a la de los tanques de aireación de fangos activados de circulación espiral, pero se incluye un canal de recogida de arenas de 0,9 m de profundidad, con paredes laterales muy inclinadas, que se ubican a lo largo de un lateral del depósito, bajo los difusores de aire. Los difusores se sitúan a unos 0,45 y 0,6 m por encima de la base normal del tanque. Para el control hidráulico del elemento y para mejorar la eficacia de la eliminación de las arenas se utilizan normalmente unos deflectores, tanto en la entrada como la salida del agua.

La velocidad de rotación transversal o la agitación determinan la medida de las partículas de un peso específico que serán eliminadas. Si la velocidad es excesivamente elevada, se arrastrará la arena fuera del tanque, mientras que si la velocidad es lenta, se producirá una sedimentación de la materia orgánica junto con la arena. Con un ajuste adecuado, se pueden obtener unos porcentajes de eliminación de alrededor del 100 %, y la arena estará bien limpia. Las arenas que no están bien limpias causan problemas, puesto que todavía contienen una parte de materia orgánica que provoca malos olores y atrae insectos. El agua residual circula por el tanque siguiendo una trayectoria helicoidal, y pasará dos o tres veces por el fondo del tanque en condiciones de caudal punta, incrementando el número de pases por la parte inferior del tanque cuanto menor sea el caudal. El agua residual se ha de introducir en el desarenador siguiendo la dirección de rotación. Para determinar la pérdida de carga en la circulación por el desarenador, es necesario tener en cuenta la expansión volumétrica provocada por el aire introducido.

Para extraer la arena, se suelen proveer de cucharas bivalva que se desplazan sobre un monorraíl centrado sobre el canal de almacenado y recogida de la arena. También hay instalaciones con transportadores de cadenas, que deslizan a lo largo de los canales de recogida empujando la arena hasta un extremo de los mismos y la elevan por encima del nivel del agua continuamente. También se pueden utilizar transportadores de tornillo helicoidal, bombas de chorro, y de emulsión de aire.

Los equipos de eliminación de arenas que se instalan en los desarenadores aireados, tienen los mismos problemas de desgaste que los de flujo horizontal.

Si se llegara a un punto en que hubiera unas grandes emisiones de COV (compuestos orgánicos volátiles), se debería replantear la utilización de desarenadores aireados, o como mínimo tapar la instalación, puesto que la agitación que provocan estos ayudan al desprendimiento de los COV, y pueden causar graves problemas en la salud de los operarios que trabajan en la estación depuradora. Pero normalmente este desprendimiento sólo sucede cuando el agua tratada es de origen industrial, y raramente se encuentra en el agua residual de tipo urbano. Este punto es importante si se quiere hacer una ampliación de la EDAR en un futuro o la introducción, al Q de tratamiento, de aguas industriales pesadas.

9.5.2.3. Desarenadores de Vórtice

La separación de arenas también se hace en elementos en los que el flujo de agua provoca la formación de un vórtice. En uno de los tipos de desarenadores, tanto en la entrada como en la salida del agua residual se produce de forma tangencial. La turbina giratoria mantiene una velocidad de circulación constante, y sus palas ajustables promueven la separación de la materia orgánica de la arena. La acción de la turbina giratoria produce una trayectoria toroidal de las partículas de arena. A cada giro completo del contenido del tanque, la arena sedimenta por gravedad e inercia y se recoge en un recipiente desde dónde se puede extraer con una bomba de arenas o del tipo air-lift. La arena extraída con bomba de arenas se puede descargar en un hidroclon para la eliminación de materia orgánica. La arena extraída con un air-lift se puede separar con un tamiz estático auto-limpiable con malla de separación de sección de cuña. Si se instalan más de dos unidades, es necesario disponer de elementos especiales para la división del caudal.

En el segundo tipo de desarenadores, la entrada del agua en dirección tangencial por la parte superior del aparato genera un vórtice libre. El afluente sale por el centro de la parte superior desde un cilindro rotatorio u "ojo" de fluido. Dentro de este cilindro, las fuerzas gravitacionales minimizan la aliteración de partículas con densidades mayores que las del agua. La arena sedimenta por gravedad en la parte inferior del aparato, mientras que la materia orgánica, incluida la materia separada de las partículas de arena por acción de las fuerzas centrífugas, abandona el aparato con el efluente. La materia orgánica que sedimenta con las partículas de arena se separa de estas a medida que se desplazan por la base inferior de la unidad. La pérdida de carga en el desarenador es función de la medida de las partículas que se deben separar y crece de forma importante cuanto más finas sean las partículas. Este tipo de unidad de separación de arenas ha sido creada para el tratamiento de caudales de hasta $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ por unidad. La arena se extrae del desarenador mediante una cinta transportadora.

Debido a su altura total, este tipo de desarenadores necesitan mucha excavación o una estación de elevación si la unidad se instala en la superficie.

9.6. Pre decantación

En algunas instalaciones de tratamiento no se utilizan desarenadores, y se permite la sedimentación de la arena en los decantadores primarios. La eliminación de la arena se hace mediante un bombeo de fango primario diluido a un ciclón. El desarenador de ciclón funciona como un separador centrífugo en el que las partículas pesadas de arena y los sólidos se separan por la acción de un vórtice y se descarga separadamente de las partículas más ligeras y la masa del líquido. La ventaja está en la eliminación del coste de los desarenadores. Las desventajas son que el bombeo de grandes cantidades de fango diluido suele obligar a la instalación previa de un espesador de fango, y el bombeo de arenas con el fango primario provoca mayores necesidades de mantenimiento de los conductos de fangos y de las estaciones de bombeo de los fangos primarios, incrementando también el coste de bombeo de fangos.

9.6.1. Eliminación de Arena

El método más utilizado es la evacuación al terreno como relleno, cubriéndola cuando sea necesario. A veces también se quema junto con los fangos, en depuradoras de grandes dimensiones. De la misma manera que los residuos extraídos del desbaste, algunos están obligados a su estabilización, cuando es necesario, antes de llevarlos al vertedero. Siempre se hará la eliminación de las arenas de acuerdo con la legislación medioambiental.

9.6.1.1. Separación y Limpieza de las Arenas

Las características de las arenas recogidas de los desarenadores de flujo horizontal y en desarenadores de ciclón varían ampliamente entre lo que normalmente se suele conocer con el nombre de arena limpia hasta arena que presenta un alto grado de materia degradable. Las arenas no limpias pueden llegar a contener un hasta un 50 % o más de materia orgánica. Si no se evacua rápidamente, este material puede atraer insectos y ratones, y tiene un olor muy desagradable.

La eliminación de la mayor parte de la materia orgánica se puede hacer mediante separadores y limpiadores de arena. En los casos en los que parte de la materia orgánica más apelmazada permanece con la arena, se suele utilizar limpiadores de arena para proporcionar un segundo nivel de separación de sólidos volátiles.

Hay dos tipos principales de limpiadores de arena. En uno se utiliza un tornillo inclinado que transporta la arena por un conducto inclinado ascendente. El otro tipo se basa en un dispositivo con rastrillo oscilante sumergido en su extremo inferior que proporciona una agitación suficiente para conseguir la separación de la arena de la materia orgánica, y al mismo tiempo eleva la arena hasta un punto de descarga más elevado que el agua. Los dos tipos de limpiadores se pueden equipar con dispositivos de regado de agua para mejorar la acción de limpieza.

9.6.1.2. Evacuación de las Arenas de la Planta

Se acostumbran a transportar, las arenas, a los vertederos con camiones. En plantas depuradoras de gran medida, se pueden instalar tamujas elevadas de almacenado con compuertas de descarga a la parte inferior. Las dificultades de elevación de la arena se resuelven mediante fuertes pendientes en las paredes, aplicando aire en la parte inferior de las arenas y utilizando vibradores. En

estos dispositivos, a veces es necesaria la utilización de dispositivos de drenaje para recoger y evacuar el goteo que producen las compuertas de descarga inferiores.

También se pueden utilizar cucharas bivalvas instaladas sobre un sistema monorraíl para traer la arena a los camiones directamente desde los desarenadores.

Otra opción es utilizar un transporte neumático, que eliminaría la utilización de camiones y tamujas, pero el coste en conducciones, codos y tramos curvilíneos, sería considerable.

9.7. Desengrasado

El objetivo en este paso es eliminar grasas, aceites, espumas y demás materiales flotantes más ligeros que el agua, que podrían distorsionar los procesos de tratamiento posteriores.

El desaceitado consiste en una separación líquido-líquido, mientras que el desengrase es una separación sólido-líquido. En ambos casos se eliminan mediante insuflación de aire, para des-emulsionar las grasas y mejorar la flotabilidad.

Se podría hacer esta separación en los decantadores primarios (desarenadores) al ir provistos éstos de unas rasquetas superficiales de barrido, pero cuando el volumen de grasa es importante, estas rasquetas son insuficientes y la recogida es deficitaria.

9.7.1. Problemas generados por las grasas

Son importantes los volúmenes de grasas que se vierten en los colectores, procedentes de garajes que no tienen decantadores de grasas antes de echarlo a la red de saneamiento, de viviendas y calefacciones, de mataderos, de lavaderos y de derramamiento superficial en colectores unitarios.

Las grasas han creado muchos problemas en la depuración de aguas residuales, sobre todo respecto estos procesos y elementos:

- En rejillas finas y tamices causan obstrucciones que aumentan los gastos de conservación.

- En los decantadores forman una capa superficial que dificulta la sedimentación al atraer hasta la superficie pequeñas partículas de materia orgánica.
- En la depuración, por el sistema de fangos activados, dificultan la correcta aireación, disminuyendo el coeficiente de transferencia al 55-70 % al subir las grasas de 0 a 70 mg/l, y participan en la producción del fenómeno bulking (esponjas filamentosas).
- Perturban el proceso de digestión de fangos.
- La DQO se incrementan de un 20 a un 30 %, en mataderos por ejemplo de un 8 a un 15 % por las grasas contenidas en los vertidos.

Las cantidades de grasas incorporadas en aguas residuales son muy variables, pero, por aguas urbanas, se puede considerar una cifra de 24 g por habitante y por día, o bien el 28 % de los sólidos en suspensión.

9.7.2. Retención y Recogida de Grasas

Separadores de grasas

Para evitar la existencia de grasas en la red de saneamiento, sería necesaria la instalación de cuartos de desengrasado en todos los locales dónde se produzcan este tipo de residuos.

Cuartos de grasas

Se fundamentan en el aprovechamiento de la menor densidad de los aceites y grasas, que los hace subir a la superficie al disminuir la velocidad de las aguas en unos cuartos, dispuestas de forma que las aguas fluyan por la pared inferior a través de aberturas, o por debajo de tabiques suspendidos que hacen de espumadera.

- *Cámaras de grasas KRAMER*

Uno de los tipos más utilizados en Alemania es el cuarto KRAMER emplazado antes de la sedimentación. Su planta es circular o cuadrada. En ella, al reducirse la velocidad, quedan en la superficie del tanque los aceites y grasas.

Con este aparato se eliminan del 50 al 70 % de las grasas y materias en suspensión. La capa superficial de grasas contiene

del 4 al 6 % de grasa y del 80 al 85 % de agua. Los fangos recogidos tienen una proporción de agua del 90 %.

– *Cámaras de grasas IMHOFF*

Otro tipo práctico es el construido por el doctor IMHOFF, basado en la acción anti emulsiva de la aireación sobre el aceite, y por la acción física de las burbujas de aire sobre el arrastre de las grasas. Su planta es rectangular con un fondo en forma de patera, cubierta en su parte central por placas porosas, a través de las que se inyecta aire a presión. El tanque está dividido longitudinalmente por dos tabiques, no del todo sumergidos, dejando un espacio central para la aireación y dos laterales para el des emulsionado mediante placas.

La velocidad ascensional de las burbujas de grasa se puede estimar entre 3 y 4 mm/s.

La eliminación de grasas actualmente se realiza mediante:

- a) La emulsiones de las grasas en la patera mediante aireación, permitiendo su ascenso a la superficie, y su consiguiente retirada.
- b) Separación de grasas residuales en las balsas de decantación, retirando estas mediante rasquetas superficiales.

9.7.3. Desarenado – Desengrasado

El primer punto que surge al iniciar el dimensionamiento de los procesos de desarenado y de desengrasado es el de su realización conjunta o separada.

Analizando las interacciones que tienen lugar en la realización conjunta, se comprueba que:

- Las velocidades de sedimentación de las arenas y de flotación de las partículas de grasa no se modifican prácticamente por realizar el desarenado y el desengrasado de grasas en el mismo depósito. Esto es lógico si se considera la diferencia de densidades entre las partículas de arena y grasa.
- El aire comprimido añadido por el desengrasado ayuda a impedir la sedimentación de las partículas de fango, poco densas por lo que la arena depositada en el fondo de desarenador es más limpia.

- Las partículas de arena, al sedimentar, desaceleran las velocidades ascensionales de las partículas de grasa. Disponen así, de más tiempo para ponerse en contacto entre sí durante su recorrido hacia la superficie, aumentándose el rendimiento de la flotación de grasas.

Como se puede ver, la realización de los procesos de desarenado y desengrasado conjuntamente en un solo depósito, conduce a resultados positivos en los rendimientos obtenidos en ambos procesos.

Por otra parte, al poder realizarse estos procesos simultáneamente, se puede conseguir un ahorro de volumen y espacio total considerable, utilizando como determinante y único el volumen más grande de los dos procesos por separado.

El dimensionado de los desarenadores se realiza con una doble vertiente: Para caudales diferentes (y lógicamente menores) se obtendrán también retenciones de partículas con diámetros y pesos específicos menores, e incluido de fangos. El problema se traslada a la limpieza del material sedimentado. Aparece aquí una nueva razón favorable a la aireación en los desarenadores, el efecto producido por las burbujas de aire sobre la limpieza de las partículas con las que entran en contacto, así como la puesta en suspensión de la materia sedimentable no arenosa depositada en el fondo.

Respecto al rendimiento del desengrasado de aceites y grasas, el volumen del desarenador y el caudal de aire comprimido, deben ser adecuados para conseguir el desengrasado por el caudal medio diario con un determinado porcentaje de grasas.

CAPÍTULO 10:

LÍNEA DE AGUAS.

TRATAMIENTO

PRIMARIO

Se entiende por tratamiento primario a aquel proceso o conjunto de procesos que tienen como misión la separación, por medios, exclusivamente físicos, de las partículas en suspensión no retenidas en el pretratamiento.

Este o estos procesos aprovechan la fuerza de la gravedad para lograr la sedimentación de partículas cuya densidad es mayor a la del agua en estanques o lagunas en donde el tiempo de residencia del fluido permita tal decantación. Si el periodo de estancia de las aguas, en los estanques, fuese menor al tiempo necesario de una partícula para sedimentar esta sería arrastrada al siguiente proceso. En el caso de un proceso industrial el tiempo es muy valioso, por lo que los tanques y/o lagunas se dimensionan para lograr un ratio, eficacia de sedimentación-economía, óptimo.

La sedimentación puede ser simple o secundaria.

- La sedimentación simple se emplea para eliminar los sólidos más pesados sin necesidad de otro tratamiento especial.
- La sedimentación secundaria ocurre cuando se aplica un coagulante para producir el asiento de la materia sólida contenida en el agua, aumenta la formación de sólidos sedimentables a partir de sólidos coloidales o disueltos. En otras es necesario proceder a la neutralización del pH antes del siguiente tratamiento, ya que tanto un pH muy ácido, como uno muy básico pueden causar graves problemas en la cadena de producción.

Normalmente, la sedimentación tiene lugar en decantadores denominados dinámicos, ya que constan de partes móviles, los fangos son arrastrados periódicamente, por estas partes móviles, hasta unas purgas mediante unos puentes móviles con unas rasquetas que recorren el fondo. En los denominados decantadores circulares, de gran tamaño, el agua entra por el centro y sale por la periferia, mientras que los fangos son arrastrados hacia un pozo de bombeo, situado en el fondo (donde precipitan), de donde son eliminados por purgas periódicas y conducidos a espesadores para su tratamiento en la línea de fangos.

La mayor parte de sustancias en suspensión y disolución en las aguas residuales, debido a su finura o densidad no se pueden retener en las rejillas, tamices, desarenadores y desengrasadores, ni tampoco pueden ser separadas por flotación al ser más densas que el agua.

La reducción de la velocidad de corriente por debajo un determinado valor, que será función de la eficacia que queramos alcanzar con el proceso, es el base para la eliminación de un 90% de las materias decantables y de un 65% de las materias en suspensión en el afluente.

Al depositarse estas partículas, arrastran en su caída una cierta cantidad de bacterias, con lo que se consigue también una cierta reducción de la DBO y una cierta depuración biológica, en torno al 35%.

Sirven como decantadores todos los depósitos que son atravesados, con velocidad suficientemente lenta y de forma adecuada, por el agua a depurar. Sin embargo, la exigencia de separar fácil y rápidamente las partículas sedimentables de las aguas residuales pretratadas ha contribuido a desarrollar formas más especializadas, para el aprovechamiento del espacio y del tiempo.

10.1. Sedimentación de flóculos

Las partículas, denominadas floculantes, son aquellas que tienen la propiedad de formar flóculos, que son aglomeraciones de sólidos sedimentables, o en suspensión, que son atrapados por partículas en proceso de sedimentación formando masas más fácilmente sedimentables, debido al crecimiento de su peso específico.

La formación de estos flóculos aumenta la velocidad de sedimentación, acortando el tiempo de residencia necesario para que precipiten el mismo porcentaje de sólidos sedimentables.

Si a lo anteriormente expresado le sumamos que el tiempo de residencia suele ser largo en grandes tanques y con las aguas en reposo, podremos aplicar la ley de Stokes, para régimen laminar, para dimensionar los tanques y definir el tiempo de residencia, ya que la condición de flujo laminar implica bajos números de Reynolds lo cual puede traducirse en una velocidad relativa entre la partícula y el medio líquido a un cierto valor crítico. En estas condiciones la resistencia que ofrece el medio es debida casi exclusivamente a las fuerzas de rozamiento que se oponen al deslizamiento de unas capas de fluido sobre otras a partir de la capa límite adherida al cuerpo. La ley de Stokes se ha comprobado experimentalmente en multitud de fluidos y condiciones.

Si las partículas están cayendo verticalmente en un fluido debido a su propio peso puede calcularse su velocidad de caída o sedimentación igualando la fuerza de fricción con el peso aparente de la partícula en el fluido.

Partiendo de la Ley de Stokes: $F_r = 6\pi \cdot R \cdot \eta \cdot v$

Donde:

- F_r es la fuerza de fricción experimentada por una partícula esférica moviéndose en el seno de un fluido viscoso.
- R es el radio de la partícula, normalmente las partículas no son esféricas, por lo que se suponen esférica mediante un factor de corrección llamado, diámetro equivalente en volumen.
- η es la viscosidad del fluido.
- v es la velocidad de movimiento de la partícula.

Igualando la F_r al peso aparente de la partícula, podemos hallar la velocidad de sedimentación de las partículas a sedimentar:

$$V_s = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 \cdot g(\rho_p - \rho_f)}{\eta}$$

Donde:

- V_s es la velocidad de sedimentación de la partícula en el seno del fluido.
- r es el radio de la partícula.
- g es la fuerza de gravedad.
- ρ_p y ρ_f son las densidades de la partícula y del fluido.
- η es la viscosidad del fluido.

Aún así, en nuestro caso, la sedimentación en nuestros tanques en vez de ser lineal dibujará una trayectoria, de partícula, curva, de pendiente creciente.

10.1.1. Condiciones influyentes

- *Velocidad Ascendente* o Carga Superficial: Es el caudal de fluido dividido por la superficie del depósito de sedimentación ($\frac{Q}{\pi r^2}$). Éste será el único parámetro de la sedimentación de partículas discretas. La eficacia de la decantación disminuye al aumentar la velocidad ascendente.
- *Tiempo de Retención*: Volumen del depósito dividido por el caudal ($\frac{4}{3} \cdot \frac{\pi r^3}{Q}$). A veces, en vez de este parámetro se toma la altura del depósito al ser ambos interdependientes. Cuánto más grande es este periodo, mayor es la eficacia conseguida en la sedimentación.
- El *volumen de las partículas* es directamente proporcional a la velocidad de sedimentación.
- *Peso específico de las partículas*.
- La *concentración de los sólidos* en suspensión es directamente proporcional a la eliminación de los mismos.
- *Temperatura*: A mayor temperatura, menor es la densidad del líquido y más rápida es la sedimentación. Por lo tanto, a igual tiempo de retención mayor rendimiento.
- *Acción del viento* sobre la superficie del líquido.
- *Fuerzas biológicas*.

- *Cortocircuitos hidráulicos.*

10.2. Decantadores

Existen dos tipos básicos de decantadores, con eficacias demostradas, para su utilización en el proceso de depurado de las aguas residuales.

Hay otras formas de realizar este paso, pero son extremadamente lentas, como por ejemplo la decantación en lagunas, en donde el agua es retenida por grandes periodos de tiempo sin afluentes ni efluentes. Este sistema suele ser usado en zonas rurales, donde disponer de una E.D.A.R. es, prácticamente, imposible. El agua se deja por semanas, para luego vaciar la laguna y proceder al limpiado de los fangos. Otro sistema es el de balsas dentro de pequeños ríos, ya que el frenado brusco de las aguas al entrar en las balsas proporciona un impulso a los sólidos para sedimentar.

Pero, como se ha dicho, estos sistemas no son rentables. Los sistemas más usados en las E.D.A.R. convencionales son dos:

- 1) *Decantadores circulares.*
- 2) *Decantadores dinámicos* o rectangulares.

El uso de uno u otro depende del volumen a tratar y del tiempo del que se dispone para ello. Si bien, el decantador circular tiene mejor eficacia, es muy lento y costoso, en cambio, el rectangular, desde un punto de vista hidráulico, tiene un mejor comportamiento, pero tiene menores eficacias.

Así pues, la elección se reduce al volumen a tratar, y para grandes depuradoras suelen elegirse los rectangulares.

10.2.1. Decantadores Circulares

A continuación se representa una imagen de un decantador circular:



Ilustración 4. Decantador Primario Circular.

En la imagen se puede apreciar un decantador primario circular vacío, en donde se puede ver la rasqueta que va sujeta al brazo giratorio.

a. Entrada de agua:

- *Cilindro de entrada*: Es el sistema más utilizado, y se basa en el reparto uniforme, bajo una corona circular en el centro del decantador, del agua en las zonas inferiores del decantador.
- *Sistemas de rotura de carga*, alternativos al sistema anterior, que se basa en dispositivos de pérdidas de carga localizados con objetivo de realizar un reparto homogéneo por toda la zona de entrada.

b. Sistemas de salida de agua:

- *Vertederos perimetrales*. Suelen ser de tipo dentado ya que, con este tipo de descargas, las variaciones en el nivel de agua del decantador, por los diferentes caudales, quedan muy atenuadas. Para evitar que sea recogida la capa superficial que puede traer espumas y sólidos flotando, el vertedero se protege con una pantalla deflectora.

- *Vertederos radiales*. Aunque no suelen utilizarse normalmente, se utilizan combinados con los perimetrales cuando la carga de salida por vertedero resulta muy alta utilizando únicamente estos. Son del mismo tipo que los ya mencionados.

c. Sistemas de barridos de fangos:

- *Eje de rasquetas*. En este tipo, un sistema de rasquetas de barrido de fangos es accionado desde el eje central del que cuelga, gira mediante un motor situado en la parte central del decantador.

Este tipo, de sistema de barrido, sólo puede utilizarse en decantadores de pequeño diámetro, debido a los esfuerzos que debe soportar el eje. Las rasquetas del fondo barren el fango hasta una arqueta central, desde donde se retirarán posteriormente los fangos mediante purgas periódicas.

- *Puente de rasquetas de tracción central*. El sistema es parecido al anterior, pero en este las rasquetas cuelgan de un puente giratorio que va desde el centro hasta la periferia, con objeto de descargar de esfuerzos al eje. El accionamiento se realiza desde un motor central. La utilización de este sistema es limitado.
- *Puente de rasquetas de tracción periférica*. El sistema es similar al anterior, diferenciándose sólo en que la tracción no se realiza desde el centro sino desde la periferia, mediante un carro tractor. Este sistema es utilizado por los grandes decantadores, por poderse obtener por estos las pequeñas velocidades de arrastre.
- *Rasquetas de succión*. En este tipo, los fangos no son barridos a ninguna arqueta, sino que son constantemente aspirados del fondo del decantador mediante aspiradores. Presentan la desventaja de que la concentración del fango de salida es menor por no existir una previa concentración en el propio decantador.

d. Arquetas de fangos:

- *Arqueta central*. Una arqueta en el centro del decantador recoge el fango barrido por las rasquetas.
- *Pozo central con espesador*. El volumen de la arqueta se amplía y se dota de mecanismos de espesamiento para espesar el fango.

- *Arqueta longitudinal intermedia.* Cuando el diámetro del decantador es grande suele utilizarse una arqueta longitudinal, que reduce a la mitad el trayecto de transporte del fango en el fondo del decantador.

e. Dispositivo de retirada de grasas:

- Una arqueta y dispositivo especial generan una sobre elevación de la lámina de agua en una zona reducida, descargando sobre una arqueta.

f. Purga de fangos:

- *Salida de fondo.* Una cañería de fondo recoge el fango de la arqueta central para transportarlo a una arqueta adosada. Pueden instalarse válvulas de accionamiento manual o accionado por un temporizador.
- *Salida a nivel superior.* Aprovechando la presión hidrostática existente en el fondo del decantador, puede extraerse el fango hasta una altura inferior al nivel del agua del decantador.

10.2.2. Decantadores Dinámicos

Los decantadores dinámicos, o rectangulares, tienen forma y volumen de una piscina olímpica, al menos los que adoptaremos para el presente proyecto (50x20x3 m.)

En la siguiente imagen se presenta un decantador de este tipo y a continuación se hará una descripción del mismo.

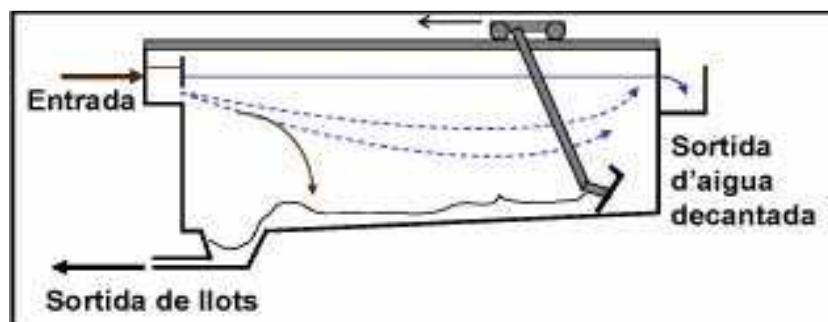


Ilustración 5. Decantador primario dinámico o rectangular.

a. Entrada de agua:

- Ya que lo que se busca es tener un régimen laminar hay que evitar las turbulencias de entrada en el decantador, por lo que se opta por una rampa de entrada en donde el agua fluya a una velocidad baja ya que la velocidad de entrada ha de ser inferior a 1 m/s.
- Existe otra metodología de entrada que es la de los sistemas de rotura de carga, que se asemejan a los de los decantadores circulares.

b. Sistemas de salida de agua:

- Al igual que en los decantadores circulares, la salida del agua será por rebase, colocándose, éste, en la pared opuesta a la entrada. Si el rebosadero no fuese suficiente, se habrían de colocar en los laterales no ocupando más de un tercio del perímetro del decantador.

c. Sistemas de barridos de fangos:

- *Puente transaccional de barrido longitudinal.* Un sistema de rasquetas cuelga de un puente que se traslada alternativamente de un lado a otro del decantador. Estas rasquetas barren el fango hasta unas arquetas situadas en el extremo de la llegada del agua. El barrido es, pues, longitudinal.
- *Puente transaccional de barrido transversal.* El sistema es similar al anterior, diferenciándose en que el barrido se produce, por la forma de rasquetas, de forma transversal hasta un arqueta a lo largo del decantador.
- *Rasquetas arrastradas por cadena sin fin.* Sistema similar al primero, diferenciándose de él en el sistema de arrastre de las rasquetas, cambiando el puente tractor por un sistema de cadena sin fin.
- *Rasquetas de succión.* Con cualquiera de los sistemas de arrastre citados, en los que se sustituyen las rasquetas por aspiradores.

Velocidad de barrido en aguas residuales 2-5 cm/s; en aguas floculadas 1 cm/s. Las pendientes en las soleras deben ser del 1% en rectangulares y del 4-10% en los circulares.

d. Arquetas de fangos:

- La salida de los fangos dependerá del sistema de barrido utilizado. Podrá ser por cualquiera de las partes definidas en el apartado anterior.

e. Dispositivo de retirada de grasas:

- Suelen consistir en un canal en la pared de entrada, al que lleguen las grasas y partículas en suspensión empujados por una escoba superficial, normalmente unida al puente de arrastre de fangos.

f. Purga de fangos:

- Salida de fondo. Sistema similar al citado por los decantadores circulares.
- Salida a nivel superior. Sistema similar al citado por los decantadores circulares.

Como idea, la cantidad de purgas, puede establecerse de 5 a 8 purgas por día, con periodo de recorrido de las rasquetas de 7 a 16 minutos.

CAPÍTULO 11:

LINEA DE AGUAS.

TRATAMIENTO

SECUNDARIO

El proceso, que en este paso se lleva a cabo, es el presente en la naturaleza para la depuración de las aguas contaminadas. En el medio natural las aguas se depuran mediante la digestión aerobia de la materia, presente en las aguas, por parte de microorganismos que se alimentan de ellas.

Pues bien, lo que se busca en el tratamiento secundario es acelerar este proceso, ya que si no, se requeriría mucho tiempo y en un proceso productivo a gran escala el tiempo ha de estar ajustado.

Básicamente la aceleración que se logra en este proceso se produce gracias a la oxigenación de las aguas en donde residen microorganismos que digieren la materia presente en el agua.

Resumiendo, la finalidad, del tratamiento secundario, es la reducción de la materia orgánica presente en las aguas residuales una vez superadas las fases de pretratamiento y tratamiento primario. El tratamiento secundario, más comúnmente empleado para las aguas residuales urbanas, consiste en un proceso biológico aerobio seguido por una decantación, denominada secundaria.

Y como decíamos antes, la digestión aerobia consiste en utilizar ciertos grupos o familias de microorganismos para eliminar la contaminación orgánica del agua, a este proceso se le llama, también, tratamiento biológico, el cual es un tratamiento adecuado para industrias con una gran carga de materia orgánica en el vertido.

Aunque detallando más el proceso diremos que estos son sus objetivos:

- La estabilización, por degradación parcial, de la materia orgánica disuelta.
- La eliminación de los Sólidos en Suspensión y flotantes.
- La eliminación de los organismos patógenos.
- En casos especiales, eliminación de nutrientes, nitrógeno y fósforo y de trazas de metales.

11.1. Fundamentos de la Dep. Biológica

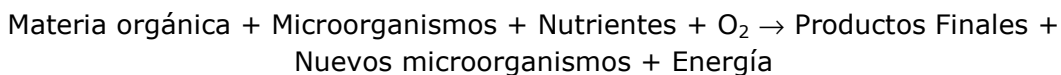
Antes de nada comentar que existen dos metodologías de digestión, para la depuración biológica, la aerobia (presencia de O_2) y la anaerobia (sin presencia de O_2). En nuestro caso optamos por la aerobia, ya que conlleva menos dificultades, y por lo tanto nos centraremos en ella.

La base de la depuración biológica es la capacidad que poseen los microorganismos para degradar, parcial o totalmente, los compuestos orgánicos, utilizando la energía liberada para realizar sus funciones vitales (nutrición, relación y reproducción). Una parte pequeña de la materia orgánica se utiliza para producir energía y convertirla en productos finales estables siendo utilizada la mayor parte para la producción de nuevas células (biomasa). Por esto se puede afirmar

que los verdaderos protagonistas de la degradación de la materia orgánica son los microorganismos, en especial las bacterias.

En los tratamientos aeróbicos el O_2 se debe suministrar, puesto que el mismo actúa como receptor final de electrones durante el proceso de oxidación. Esta, antes de ser, metabolizada por los microorganismos debe ser previamente convertida en material soluble (hidrólisis).

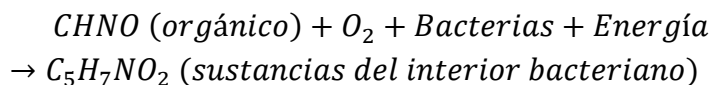
La Ingeniería Química diseña depósitos de diferente medida y forma (reactores biológicos) donde se sitúan los microorganismos para que realicen y optimicen sus funciones vitales para estabilizar la materia orgánica. De esta forma, estos microorganismos se alimentan de dicha materia orgánica en presencia de oxígeno y nutrientes, de acuerdo con la siguiente reacción:



Para que lo anteriormente expuesto se produzca, son necesarias dos tipos de reacciones fundamentales totalmente acopladas: de síntesis o asimilación y de respiración endógena u oxidación.

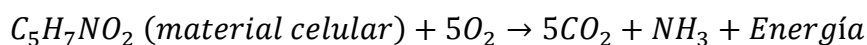
Reacciones de síntesis o asimilación

Consisten en la incorporación del alimento (materia orgánica y nutriente) al interior de los microorganismos. Estos microorganismos al obtener suficiente alimento forman nuevos microorganismos reproduciéndose rápidamente. Parte de este alimento es utilizado como fuente de Energía. La reacción que ocurre es la siguiente:



Reacciones de oxidación y Respiración endógena

La energía es obtenida por los microorganismos transformando la materia orgánica asimilada y aquella acumulada en forma de sustancias de reserva en gases, agua y nuevos productos de acuerdo con la siguiente reacción:



Como podemos observar, después de un tiempo de contacto suficiente entre la materia orgánica del agua residual y los microorganismos (bacterias), la materia orgánica del medio disminuye considerablemente transformándose en nuevas células, gases y otros productos. Este nuevo cultivo microbiano seguirá actuando sobre el agua residual.

A todo este conjunto de reacciones se les denomina de oxidación biológica, porque los microorganismos necesitan de oxígeno para realizarlas.

11.2. Factores de la oxidación biológica

Los factores principales, y limitantes, que hay que tener en cuenta, para que se produzca la digestión, son:

Sustrato:

Es decir, las características físico-químicas del afluente a depurar determinan el grado en el que la depuración se va a llevar a cabo, ya que, dependiendo de estas características, tendremos materia susceptible de ser oxidada y otra que no.

Nutrientes:

El interior celular, aparte de C, H y O, elementos característicos de la materia orgánica, contiene otros elementos como son el N, P, S, Ca, Mg etc., denominados nutrientes y que a pesar de que muchos de ellos se encuentran en el organismo sólo en pequeñas cantidades, son fundamentales para el desarrollo de la síntesis biológica.

Se ha determinado a nivel medio que los microorganismos para sobrevivir necesitan por cada 1000 g. de C, 43 g. de N y 6 g. de P, y que en las aguas residuales urbanas existen por cada 1000 g. de C, 200 g. de N y 16 g. de P.

Si comparamos lo que necesitan los microorganismos para sobrevivir, con las cantidades existentes de dichos elementos en el agua residual, podemos concluir que a título general dichos

microorganismos pueden desarrollarse en el agua residual perfectamente.

Es interesante comentar que en el caso de determinadas aguas con vertidos industriales, las proporciones de dichos elementos no están equilibradas, siendo necesario a veces dosificar N y P en el agua, para que pueda darse el desarrollo bacteriano y exista depuración biológica.

Presencia de Oxígeno:

Al enfrentarnos a una digestión aerobia, la presencia de oxígeno es vital, para el normal funcionamiento del proceso, por lo que su presencia deberá de ser la óptima.

Homogeneización:

En la mezcla, tanto de los microorganismos, como del oxígeno, ya que, si no, no podríamos obtener unos buenos resultados.

Temperatura:

A medida que aumenta la temperatura la acción bacteriana se intensifica y acelera, pero por encima de 37°C se corre el riesgo de muerte de los organismos, por lo que, el intervalo perfecto para el desarrollo de una óptima digestión aerobia sería de entre 12 y 37°C. Esto nos lleva a que, dependiendo de la situación geográfica de la planta, tal vez, tengamos que disponer de sistemas de calefacción y/o refrigeración.

Salinidad:

El contenido en sales disueltas no suele ser problemático para el desarrollo bacteriano en el proceso de fangos activos hasta concentraciones de 3 a 4 g/l.

En los procesos de cultivos fijos (lechos bacterianos), la influencia es aún menor, no afectando valores que no superen los 15 gr/l. Sin embargo, existen multitud de grupos bacterianos capaces de vivir en aguas saladas, de forma que si a tu sistema de depuración le das tiempo de adaptación, pueden desarrollarse bastante bien dichos grupos microbianos a concentraciones salinas superiores.

Tóxicos o inhibidores:

Existen una serie de sustancias orgánicas e inorgánicas que, a ciertas concentraciones, inhiben o impiden los procesos biológicos. Este tipo de sustancias, entre las que se encuentran los metales pesados, ejercen un efecto perjudicial sobre los microorganismos encargados de depurar el agua y por tanto, no deben de entrar en las plantas depuradoras con el agua residual, o si entran deben de hacerlo en concentraciones muy bajas.

Todos estos factores mencionados son de gran importancia, y deben de ser controlados si queremos obtener un rendimiento eficaz de depuración por parte de los microorganismos encargados de degradar la materia orgánica del agua residual.

Control del pH:

Se necesitará un intervalo de pH en el cual, las enzimas estén activas, este intervalo es muy estrecho y debe de ser cercano a la neutralidad, por lo que lo ideal será, que el pH esté entre 6,2 y 8,5. Este intervalo de pH garantizará una optimización de la digestión.

11.3. Procesos de Digestión

Dentro de la digestión aerobia existen dos metodologías predominantes. La de *lechos bacterianos* y la de *fangos activos*. En la presente planta se utilizará la segunda, pero cabría explicar los fundamentos de los lechos bacterianos.

11.3.1. Lechos Bacterianos

Son tanques circulares rellenos de piedras o materiales sintéticos formando un filtro con un gran volumen de huecos, destinado a degradar biológicamente la materia orgánica del agua residual.

El agua a tratar se rocía sobre el lecho filtrante, mediante un brazo giratorio, provisto de surtidores, y da lugar a la formación de una

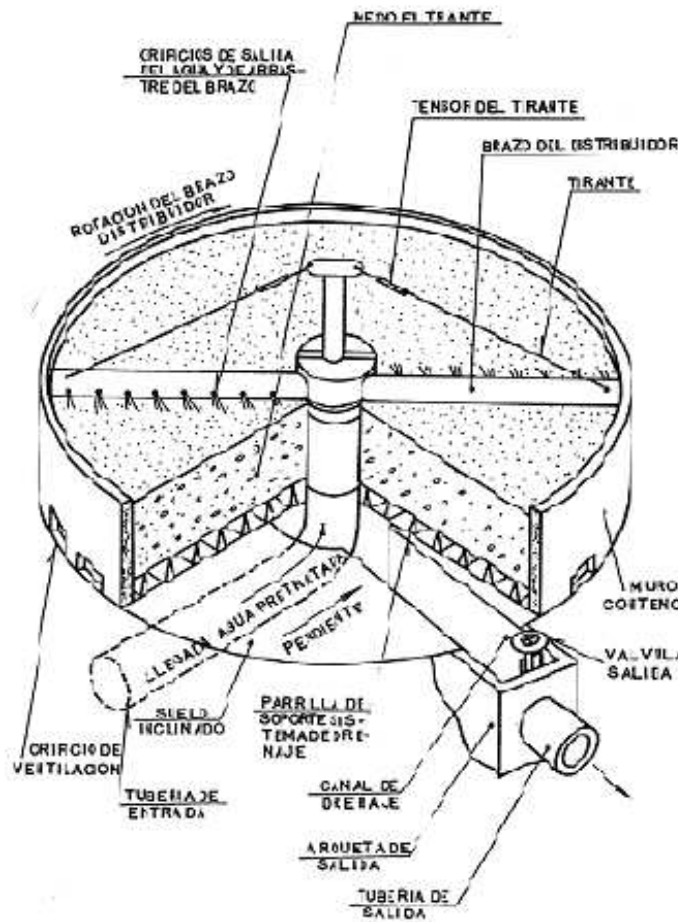


Ilustración 6. Tanque para el tratamiento biológico por Lechos Bacterianos.

película que recubre los materiales filtrantes y que está formada por bacterias, protozoos y hongos alimentados por la materia orgánica del agua residual. Al fluir el agua residual sobre la película, la materia orgánica y el oxígeno disuelto son extraídos de ésta. El oxígeno disuelto en el líquido se aporta por la absorción del aire que se encuentra entre los huecos del lecho. El material del lecho debe tener una

gran superficie específica y una elevada porosidad, y

suelen emplearse piedras calizas, gravas, escorias o bien materiales plásticos artificiales de diversas formas. Este sistema de depuración se suele emplear en pequeñas poblaciones y tiene la ventaja con respecto a los fangos activos de que no necesita aporte alguno de energía.

La tecnología de Lechos Bacterianos es más antigua que la de Fangos Activos, habiéndose extendido su uso en el campo de las pequeñas comunidades debido a la sencillez de su explotación, su adaptabilidad a las fluctuaciones de caudal y carga (típicos de estos núcleos) y a la buena calidad del efluente final.

11.3.2. Fangos Activos

Consiste en un proceso continuo en el que el agua residual se estabiliza biológicamente en tanques o balsas de activación, en las que se mantienen condiciones aerobias. El afluente de los decantadores primarios pasa a estas balsas de fangos activos que necesitan un aporte de oxígeno para la acción metabólica de los microorganismos que más tarde serán descritos. Este aporte se efectúa mediante turbinas o bien a través de difusores dispuestos en el interior de la balsa. En este último caso, el suministro del aire se realiza mediante turbocompresores.

El sistema consiste en desarrollar un cultivo bacteriano disperso en forma de flóculo (se describirá más tarde) alimentado con el agua a depurar. La agitación evita sedimentos y homogeniza la mezcla de los flóculos bacterianos y el agua residual (licor de mezcla). Después de un tiempo de contacto suficiente, tiempo de residencia suficiente, el licor de mezcla se envía a un clarificador (decantador secundario) destinado a separar el agua depurada de los fangos. Un porcentaje de estos últimos se recirculan al depósito de aireación para mantener en el mismo una concentración suficiente de biomasa activa. Se tienen que garantizar los nutrientes necesarios para que el sistema funcione correctamente. Estos son principalmente el nitrógeno y el fósforo.

Una vez que los influentes han pasado por estos tanques de aireación y digestión bacteriana, los efluentes pasan por los decantadores secundarios. Estos decantadores constituyen el último escalón en la consecución de un efluente bien clarificado, estable, de bajo contenido en DBO y sólidos en suspensión (menos del 10 % en comparación con el afluente).

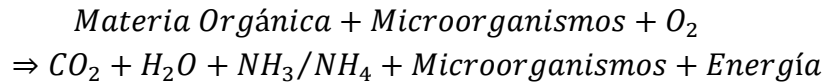
Aunque el tratamiento biológico reduce la DBO del agua efluente un 75-90%, la del fango se reduce en mucha menor medida, por lo que suele ser necesario el posterior tratamiento de dichos fangos.

Para que se verifique el proceso, debe haber un equilibrio entre los microorganismos que se mantienen en el reactor y el alimento contenido en el agua residual, por lo que es necesario regular el

caudal de fangos que se introduce en la balsa de activación en función de la cantidad de alimento que entra con el agua residual.

11.3.2.1. Ppales. Microorganismos de los Fangos

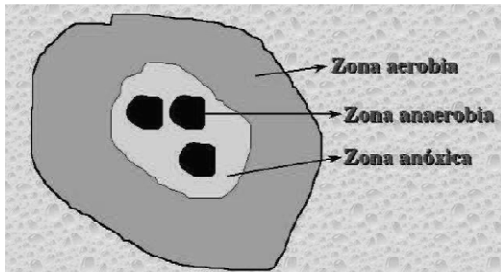
El mecanismo general del sistema de fangos activos viene representado por la siguiente reacción biológica:



La biodegradación (oxidación de la materia orgánica disuelta en el agua) la llevan a cabo los microorganismos presentes en la balsa de activación que forman el flóculo.

Flóculo:

El flóculo individual es la unidad ecológica y estructural del fango activo, y constituye el núcleo alrededor del cual se desarrolla el proceso de depuración biológica. El tamaño medio del flóculo oscila entre las 100 y 500 micras. A medida que aumenta el tamaño del flóculo, el oxígeno en su interior disminuye, y se pueden formar zonas de anoxia donde pueden crecer bacterias anaerobias metanogénicas y que pueden arrancar el proceso de digestión anaerobia de fangos, como veremos más adelante.



ra básica del

En el flóculo de fangos activos existen 2 componentes denominados biológico y no biológico. El componente biológico principal está constituido por una amplia variedad de microorganismos:

- **Bacterias:** Es el componente principal y fundamental del flóculo. Básicamente son heterótrofas: Bacilos Gram negativos del grupo de las Pseudomonas como Zoogloea (principalmente la especie ramigera); Pseudomonas o Comamonas; bacterias filamentosas sin septos como Flavobacterium-Cytophaga; o proteobacterias oxidantes del hidrógeno como Alcaligenes (con capacidad

desnitrificante). Entre las bacterias Gram positivas se pueden encontrar: *Arthrobacter* (corineformes con morfogénesis coco-bacilo, muy abundantes en el suelo) y *Bacillus* (Bacilo esporógeno aerobio). Por otra parte, un flóculo "ideal" contiene una serie de bacterias filamentosas desarrollándose en equilibrio con el resto de las bacterias.

Lo descrito hasta ahora constituye la "estructura básica" del flóculo del fango activo. No obstante, se pueden encontrar un gran número de bacterias autótrofas, las cuales suelen ser nitrificantes Gram negativas como los géneros *Nitrosomonas* o *Nitrobacter*, o bacterias rojas no del azufre como el género *Rhodospirillum* o *Rhodobacter*.

- **Hongos:** Los fangos activados no suelen favorecer el crecimiento de hongos, aunque algunos filamentosos sí pueden, ocasionalmente, ser observados en los flóculos de los fangos activos, como los géneros: *Geotrichum*, *Penicillium* o *Cephalosporium*.
- **Protozoos:** Los principales microorganismos eucariotas presentes en los fangos activos son los protozoos ciliados libres (*Paramecium*), fijos (*Vorticella*) o reptantes (*Aspidisca*, *Euplotes*), los cuales se encuentran en altas densidades y desempeñan un importante papel en el proceso de depuración y en la regulación del resto de la comunidad biótica. Mejoran la calidad del efluente y regulan la biomasa bacteriana al preda sobre las bacterias dispersas del licor de mezcla. Otros protozoos presentes son los flagelados *Bodo* o *Pleuromonas* y, dentro del grupo sarcodina, el género *Amoeba*.
- **Metazoos:** Aunque pueden estar presentes en las balsas de activación organismos multicelulares tales como Nemátodos, Anélidos, Crustáceos o Acaros, los organismos multicelulares más comunes son los Rotíferos (*Lecane*, *Philodina* o *Notommata*). Eliminan bacterias libres y posibles patógenas (*Salmonelas*, bacterias fecales, etc.) y producen un mucus que mantienen el flóculo junto con el exopolisacárido producido por la bacteria *Zooglea ramigera*.
- **Algas microscópicas:** Si bien no suelen formar parte del flóculo, pueden aparecer en aquellas aguas residuales con gran cantidad de materia orgánica. Entre las más comunes se encuentran

Cosmarium y Pediastrum (chlorophyta); Euglena (Euglenophyta) y Pinnularia (Chrysophyta).

La presencia de los diferentes organismos determina el grado de DBO presente, puesto que cada uno de los grupos vistos requiere unas condiciones de oxígeno determinadas.

El componente no biológico del flóculo contiene partículas orgánicas e inorgánicas que provienen del agua residual, junto con polímeros extracelulares (principalmente polisacáridos producidos por algunos de los microorganismos señalados anteriormente) que tienen un importante papel en la biofloculación del fango activo.

11.3.2.2. Microorganismos filamentosos

Problemas de floculación

Prácticamente, en todos los fangos activos existen microorganismos filamentosos formando una especie de red denominada macroestructura flocular. Por tanto, se puede afirmar que estos son componentes normales de la población del fango, si bien, y bajo condiciones específicas pueden entrar en competencia con las bacterias formadoras de flóculo, originando una serie de efectos sobre la estructura flocular. Por un lado, su ausencia puede dar lugar a flóculos pequeños y sin cohesión, produciéndose un efluente final turbio. Por otra parte, si la cantidad de filamentos es alta podemos encontrarnos con dos tipos de problemas biológicos:

- 1. Esponjamiento filamentoso o "bulking".** El fango activo sólo sedimenta lentamente y no se compacta, o lo hace pobremente, debido a que en él se ha producido un hinchamiento o esponjamiento provocado por una excesiva proliferación de bacterias filamentosas. Es un fallo de la macroestructura flocular.
- 2. Espumamiento biológico o "foaming".** Los microorganismos filamentosos producen una espesa espuma coloreada (en colores del blanco al marrón) y en muchos casos abundantes flotantes en decantación secundaria.

Los tipos de microorganismos filamentosos identificados habitualmente en las EDAR de todo el mundo son una treintena, de los que sólo unos pocos son muy frecuentes. Entre ellos se encuentran los siguientes:

- Quimiolitótrofos oxidantes del azufre: Beggiatoa, Thiotrix.
- Bacterias Gram negativas con vaina: Sphaerotilus.
- Cianobacterias: células del Grupo IV que producen heterocistos tales como Anabaena o Nostoc.
- Bacterias Gram positivas: bacilos esporógenos (Bacillus), cocos que forman filamentos (Streptococcus) y bacterias del grupo de las micobacterias que forman filamentos cortos (Nocardia)

11.3.2.3. Crecimiento Biológico

Con el objeto de conocer y controlar efectivamente el medio ambiente en que se desarrolla el tratamiento biológico del agua residual se mencionarán a continuación algunos aspectos fundamentales que rigen el crecimiento de los microorganismos.

Cinética del crecimiento biológico

Al proyectar un sistema de tratamiento biológico de aguas residuales se debe hacer énfasis en la necesidad de conseguir una comunidad biológica y un medio ambiente bien controlados. Las condiciones ambientales se pueden controlar mediante regulación del pH, de la temperatura, la adición de nutrientes o elementos de traza, la adición o exclusión de oxígeno o también, mediante una mezcla adecuada del medio. El control de las condiciones ambientales asegurará que los microorganismos dispongan del medio adecuado para su desarrollo.

Con objeto de asegurar el crecimiento de los microorganismos, se les debe permitir un tiempo de permanencia en el sistema suficiente para que se reproduzcan (tiempo de retención celular o edad de fangos).

Este periodo depende de la tasa de crecimiento, la cual está directamente relacionada con la velocidad a la cual metabolizan o utilizan el residuo.

Suponiendo que las condiciones ambientales estén debidamente controladas, se puede asegurar una estabilización eficaz mediante el control de la tasa de crecimiento de los microorganismos.

En general, los procesos de tratamiento biológico están compuestos por complejas poblaciones biológicas mezcladas e interrelacionadas, dónde cada microorganismo tiene su propia curva de crecimiento dentro del sistema, de acuerdo con el tiempo, depende del alimento y de los nutrientes disponibles así como de los factores ambientales como la temperatura, el pH y del carácter aerobio o anaerobio del sistema. Al establecer la variación con el tiempo del predominio de los microorganismos en la estabilización aeróbica de un agua residual orgánica, si bien las bacterias son de importancia capital, existen otros muchos organismos que participan en la estabilización del residuo orgánico.

Fases del crecimiento biológico.

Las aguas residuales domésticas contienen materias orgánicas y nutrientes que pueden ser utilizados por varias clases de microorganismos para satisfacer sus necesidades básicas de crecimiento y reproducción. El resultado final de este tipo de proceso es un aumento en la biomasa bacteriana y una reducción sustancial de la demanda biológica de oxígeno (DBO) inicialmente presente en el agua residual. Cuando una población de microbios se coloca en contacto con una fuente de alimento, por ejemplo aguas residuales, sufre un periodo inicial de adaptación al medio; durante esta etapa, conocida como de lactancia o fase logarítmica, los organismos se preparan para utilizar la energía circundante.

Transcurrido el tiempo de adaptación, los microbios empiezan a multiplicarse; el crecimiento solamente está limitado por su capacidad para consumir el alimento disponible y por el tiempo necesario para su reproducción. Este periodo se denomina de crecimiento logarítmico.

Una vez que gran parte del alimento ha sido metabolizado se presenta un equilibrio entre el número de individuos generados y el número de individuos que mueren. La población no aumenta ni disminuye llegando a la fase estacionaria; posteriormente la disponibilidad de nutrientes disminuye y el número de individuos que mueren tiende a superar el número de individuos generados,

entonces el sistema entra en la fase denominada logarítmica de muerte.

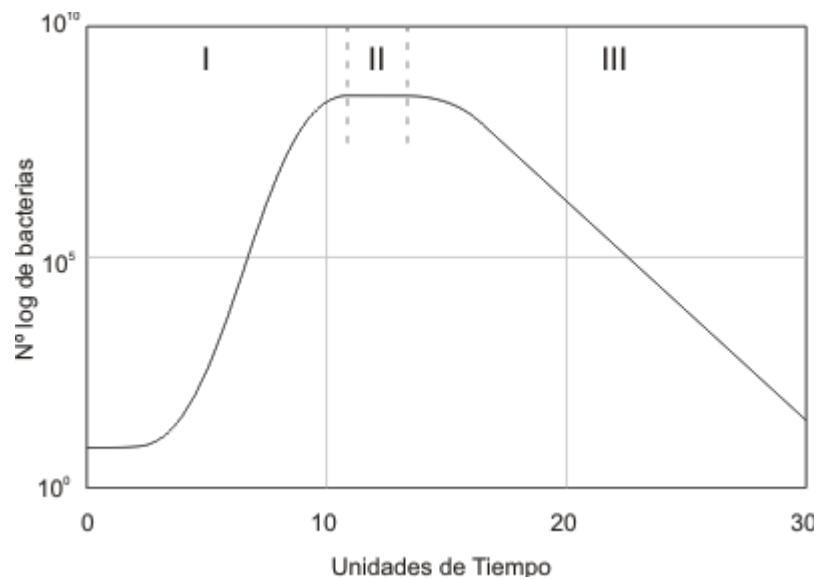


Ilustración 8. Curva típica del crecimiento biológico.

En la figura pueden distinguirse claramente tres etapas: La de arranque (I), la de estabilización (II) y la de declive (III).

11.3.2.4. Microbiología del Proceso

Para diseñar un sistema de fangos activados correctamente y con la debida garantía de buen funcionamiento, es necesario comprender la importancia de los microorganismos dentro del sistema. La biomasa está constituida por un 95% de bacterias y un 5% de protozoos: amebas, flagelos y ciliados; rotíferos y nematodos.

En la naturaleza, el papel clave de las bacterias es descomponer la materia orgánica producida por otros organismos vivos. En el proceso de fangos activados las bacterias son los microorganismos claves puesto que son los responsables de la descomposición de la materia orgánica del agua residual con el fin de obtener energía para la síntesis del resto de la materia orgánica en forma de nuevas células.

En realidad, solamente una parte del residuo original es verdaderamente oxidado a compuestos de bajo contenido energético, como NO_3^- , SO_4^{2-} y CO_2 ; el resto se sintetiza en forma de material

celular. Los productos intermedios que se forman antes de producirse los productos finales de oxidación son muy diversos.

Por otro lado, del mismo modo que es importante que las bacterias descompongan el residuo orgánico tan pronto como sea posible, también lo es que formen un floculo adecuado, puesto que este punto constituye un requisito previo para la preparación de los sólidos biológicos en las instalaciones de sedimentación. Se ha observado que cuando se aumenta el tiempo medio de retención celular mejoran las características de rendimiento del floculo biológico, esto se debe a que cuando aumenta la edad media de la célula, la carga superficial de las mismas se reduce y los microorganismos empiezan a producir polímeros extracelulares quedando al cabo del tiempo envuelto en una capa viscosa (cápsula gelatinosa de protección) promoviendo la formación de flóculos que pueden eliminarse fácilmente mediante sedimentación. En el caso de aguas residuales domésticas se requieren tiempos medios de retención celular cerca de 3-4 días para conseguir una buena sedimentación.

Si bien el objetivo principal del tratamiento de aguas residuales mixtas es la degradación biológica aeróbica de la materia orgánica, conviene también estabilizar aquellos compuestos inorgánicos que produzcan DBO. El compuesto inorgánico más importante es el amoníaco, puesto que su presencia en el emanante de la planta puede estimular el descenso de O_2 disuelto en la corriente receptora a través del proceso biológico convirtiéndose en nitrito, este es oxidado seguidamente por otro grupo de microorganismos a nitrato que es el estado de oxidación final de los compuestos de nitrógeno y como tal, representa su producto estabilizado. Las bacterias nitrificantes tienen una tasa de crecimiento mucho menor que las heterótrofas y necesitan de mayor tiempo medio de retención celular para ser realmente efectivas. Jenkins y Garrison encontraron que para el caso de aguas residuales mixtas tratadas por un proceso de fangos activados a temperatura de 21-22 °C se necesitan tiempos de retención celular de al menos 10 días para asegurar la nitrificación.

La dependencia de la temperatura en la constante de la velocidad de la reacción biológica es muy importante a la hora de valorar la eficacia de un proceso biológico. La temperatura no solo influye en la actividad metabólica de la población microbiológica sino que tiene un

profundo efecto en los factores como las tasas de transformación de gases y características de sedimentación de los sólidos biológicos.

En los procesos de tratamiento biológico existen grandes variedades de poblaciones de microorganismos mezcladas e interrelacionadas entre sí; en el sistema, cada tipo de microorganismo tiene su propia curva de crecimiento, dependiendo la forma y posición de la misma, del tiempo, el alimento, los nutrientes y los factores ambientales presentes como la temperatura, el pH y la presencia o ausencia de oxígeno. Estas curvas pueden graficarse en conjunto, obteniéndose el diagrama de predominio relativo. En el eje horizontal se representa el tiempo de aireación o edad de los fangos y en el eje vertical el número relativo de microorganismos (sin escala); en él puede observarse el comportamiento de cada tipo de microorganismo y momento en el que llegan a su máximo crecimiento.

A principios del proceso, cuando el agua residual fresca es introducida en el aireador y la transferencia de oxígeno empieza, existe en el agua residual una población mixta de microorganismos pero ninguno de ellos predomina. Esto es cierto especialmente en aguas residuales domésticas; en algunos residuos industriales es necesario "aclimatar" las bacterias al residuo y la fase LAG será un poco más larga. Como hay un exceso de alimento (alta DBO), los organismos más simples llegan a una población relativamente alta. Aparecen entonces los organismos de la clase sarcodinos que son muy primitivos y bastante ineficientes en la descomposición de la materia orgánica. En los procesos aeróbicos estos organismos, especialmente amebas, predominan durante el arranque del proceso.

Posteriormente, cuando el alimento disponible ya no es tan abundante, los protozoos flagelo llegan a su población máxima; estos organismos tienen una estructura más compleja que las amebas y son más activos. Su movilidad hace que puedan obtener fácilmente su alimento, en condiciones que resultan difíciles para las amebas, puesto que son eficientes en la descomposición de la materia orgánica, consumen una gran cantidad de oxígeno. Al examinar en este punto los fangos que se tienen en el reactor, se observará a un "fango joven" de color café claro.

Este fango tiene una apariencia dispersa, su velocidad de sedimentación es baja y el sobrenadante turbio, debido a la presencia

de gran cantidad de bacterias en él. El índice volumétrico de fango (IVL) tendrá valores elevados puesto que los protozoos impiden la formación de floculos compactos. Observando el lodo bajo el microscopio se encontrará un gran número de protozoos del tipo flagelo, un gran número de bacterias y algunos sarcodinos. El efluente del proceso tendrá una DBO y SS relativamente altos.

Con el transcurso del tiempo la relación alimento-microorganismos disminuye notablemente; la población de flagelos es reemplazada por netados libres y las bacterias llegan a la fase estacionaria.

Este punto es importante puesto que en esta región operan los sistemas convencionales de fangos activados.

Aunque las bacterias son organismos simples, es notoria su eficiencia en la competencia por el alimento cuando este escasea.

Las bacterias remueven la carga contaminante del agua residual por los mecanismos: absorción directa a través de las membranas celulares o adsorción.

Este último es el más importante; las bacterias producen polímeros de consistencia gelatinosa que atrapan las partículas en suspensión.

Aunque estas partículas no pueden ser asimiladas directamente, las bacterias segregan enzimas que las rompen o las disuelven, y así pueden ser absorbidas por ellas. Los netadores libres tienen una estructura más compleja que la de los flagelos y debido a su capacidad motriz pueden también sobrevivir cuando existe poca disponibilidad de alimento.

De forma similar a las bacterias, estos microorganismos son menos activos que los protozoos, consumen menos oxígeno y utilizan el poco alimento disponible de manera eficiente. En este punto el fango se aglomera fácilmente por acción de los polímeros que las bacterias segregan, y sedimenta rápidamente. El líquido sobrenadante es bastante claro. El IVL tiene un valor bajo. Una observación de los fangos al microscopio detectaría un fango aglomerado y una población alta de bacterias y netadores libres.

Unos cuantos rotíferos, ciliados adheridos y flagelos estarán también presentes.

El efluente del proceso será bajo en DBO y en sólidos en suspensión.

Algunos microorganismos mueren y sus células se rompen, descargando al ambiente su contenido que sirve para sustentar la vida de los supervivientes. Los rotíferos y los ciliados adheridos pueden alimentarse de bacterias. En estas condiciones, en el reactor se observará una grasa sobrenadante de color café oscuro. El lodo sedimentará rápidamente, pero debido a la poca cantidad de bacterias su aglomeración no será óptima. Algunas veces se observarán residuos de material celular aglomerado, que flotan en la superficie. El IVL será más bajo debido a la densidad del lodo, como también lo será la tasa de utilización de oxígeno. Un análisis microscópico del fango mostrará una población elevada de rotíferos y ciliados adheridos. El sobrenadante del proceso será bajo en DBO, pero puede tener sólidos en suspensión relativamente altos.

11.3.2.5. Parámetros del Proceso

Para garantizar el buen funcionamiento de un sistema de fangos activados es indispensable llevar a cabo un control permanente del proceso, para el cual es necesario realizar una serie de mediciones de parámetros físico-químicos y biológicos entre los cuales se pueden mencionar:

Parámetros físico-químicos

- *Demanda Química de Oxígeno, DQO*: La demanda química de oxígeno se define como la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar por métodos químicos la materia orgánica contenida en el agua. Siendo así, la DQO es una medida que a su vez constituye el potencial alimenticio para los microorganismos. Las unidades de la DQO son mgO_2/l .

Reemplaza la determinación de la DBO5 por ser la primera una medida de más rápida ejecución.

- *Sólidos en Suspensión, SST - SSV*: La cantidad de partículas sólidas presentes en el agua se mide a través de la concentración de Sólidos en suspensión Totales. La fracción orgánica de estos está representada por los Sólidos en suspensión Volátiles. Se expresan en mg/l .

Dentro del reactor aeróbico, una fracción elevada de los SSV está constituida por los microorganismos del sistema, razón por la cual este parámetro se utiliza como indicativo de la biomasa existente.

- *pH*: Para desarrollarse, los organismos exigen condiciones ambientales propicias, en este caso, valores de pH próximos al punto neutro ($\text{pH} = 7,0$). En general, la actividad microbiana produce una reducción en el pH del licor mezclado. Para no llegar a condiciones ácidas que inhiban el crecimiento bacteriano, es necesario adicionar sustancias químicas que corrijan el pH como hidróxido de Calcio o Hidróxido de Sodio.
- *Carga*: La cantidad de alimento suministrada al sistema está dada por el producto entre el volumen de agua negra, ($Q/\text{l·día}$) y la concentración de materia orgánica (DBO, mg día).
- *Tasa de utilización de Oxígeno, RUO*: El consumo de oxígeno del sistema es proporcional a las actividades de síntesis o conversión de materia orgánica en células microbianas y la respiración endógena o utilización por parte de las células vivientes de los residuos biodegradables, descargados por las células muertas.
- *Relación Alimento - Microorganismos*. Esta es una medida de la cantidad de materia orgánica disponible como alimento para los microorganismos. Es la relación existente entre la cantidad de DQO alimentada al sistema diariamente y la cantidad de Sólidos en suspensión Volátiles dentro del reactor aeróbico.

Parámetros microbiológicos

- *Recuento Total de Bacterias en Placa*. Las bacterias son organismos tan pequeños que no pueden verse a través del microscopio; microorganismos unicelulares, muy sencillos, que crecen en ambientes húmedos y se alimentan de materia orgánica en estado soluble.

Para contarlas se hace necesario cultivarlas en un medio nutritivo especial, que posibilita su crecimiento en forma de colonias, el tamaño de las cuales se hace visible al ojo humano, el criterio establecido es que un individuo, bajo condiciones ambientales propias, genera una colonia. Es importante el recuento total de bacterias, puesto que estas realizan la mayor parte de la degradación de la materia orgánica. La contabilidad se reporta como número de colonias por milímetro.

- *Recuento Relativo de Protozoarios*. Los protozoarios son organismos unicelulares, de tamaño mayor que las bacterias, proveídos de estructuras como cilios, flagelos o falsos pies, que

utilizan para moverse en busca de alimento. Son capaces de digerir materia orgánica en estado sólido y también bacterias, cuando no existe otra fuente de alimentación.

El recuento relativo se realiza colocando una gota de licor mezcla en una placa de vidrio y anotando después el número de individuos pertenecientes a cada uno de los grupos realizando, con la ayuda del microscopio, un barrido completo de placa. El aparato a utilizar puede ser un microscopio sencillo (100X a 400X) puesto que no es necesario diferenciar entre las especies.

El procedimiento se repite 3 veces por muestra examinada, para asegurar la validez estadística de los resultados. El número relativo de los miembros de cada grupo, es la suma de los resultados obtenidos en las tres placas. En cuanto a las determinaciones de tipos microbiológico es importante anotar, que el conteo de microorganismos es la práctica más común y rápida para el control operativo del proceso. El conocimiento de la abundancia relativa de este tipo de microorganismos permite inferir sobre el número de bacterias presentes como se mencionó anteriormente.

11.4. Consideraciones de Diseño

11.4.1 Elección del tipo de reactor:

Se tienen en cuenta aspectos operacionales:

a) *Cinética de las reacciones que gobiernan el proceso*

Tanto en reactor de mezcla completa como en reactores de flujo de pistón, los tiempos de retención hidráulicos son los mismos. Esto se debe a que la tasa de eliminación del sustrato mixto es de orden cero respecto a la concentración de sustrato y de orden 1 respecto a la concentración de células.

b) *Necesidades de transferencia de oxígeno*

En los reactores de flujo en pistón, uno de los problemas en este sentido es que al principio del reactor es imposible suministrar la demanda necesaria. Por eso es por lo que se han propuesto modificaciones al proceso de fangos activados como por ejemplo:

- Proceso de aireación graduada en el que se pretende adecuar el oxígeno suministrado a la demanda de oxígeno.
- Proceso de aireación con alimentación escalonada, en el que el agua residual entrante y los sólidos recirculados se distribuyen a lo largo de todo el reactor - Proceso de mezcla completa en el que el aire suministrado se ajusta o excede a la demanda.

c) Naturaleza del agua residual a tratar.

Dado que en un reactor de mezcla completa el flujo de agua entrante se reparte mejor por el reactor que no en el de flujo en pistón, en muchas plantas se elige el primero puesto que puede soportar mejor un aumento brusco de la carga contaminante del agua.

d) Condiciones ambientales

Las más importantes son temperatura, pH y alcalinidad.

En cuanto a la temperatura, un aumento o reducción puede hacer modificar la velocidad de las reacciones que intervienen en el proceso. En la mayoría de ocasiones estos cambios son graduales de forma que hay tiempo para actuar. La regulación del volumen de la balsa mediante la apertura y cierre de compuertas es una de las opciones en caso de variaciones importantes.

El pH y la alcalinidad van relacionados entre sí. Por una parte, el pH puede ser el causante de la inhibición de procesos de nitrificación y así favorecer la proliferación de algas filamentosas. La alcalinidad ayuda a mantener valores de pH bajos. Un agua poco alcalina tiene baja capacidad de hacer un tampón, con lo que el pH del licor mezcla tiende a bajar debido a la producción.

e) Costes de construcción, explotación y mantenimiento.

A veces es mejor hacer una inversión alta inicial para tener después pocos problemas de explotación y control.

11.4.2. Criterios de Carga

A lo largo de los años, para el control de proceso de fangos activados, se ha propuesto una serie de parámetros empíricos y racionales. Dos de los parámetros más utilizados son:

a) Relación alimento – organismo (F/M)

Tiempo medio de retención celular. La relación alimento vs. microorganismos se define cómo:

$$F/M = \frac{S_0}{\theta \cdot X}$$

En donde:

- + F/M es la relación alimento/microorganismos, en día^{-1}
- + S_0 es la concentración de DBO o DQO en el afluente, en kg/m^3
- + θ es el tiempo de retención hidráulica del tanque de aireación, $\frac{V(\text{m}^3)}{Q(\text{m}^3/\text{día})}$ en días.
- + X es la conversión de SSV en el tanque de aireación, en kg/m^3

La relación entre la tasa de utilización específica U y la relación alimento microorganismo es la siguiente:

$$U = \frac{F/M \cdot E}{100}$$

Donde: E es la eficacia del proceso, en %

Entonces, combinando ambas expresiones, tenemos que:

$$U = \frac{S_0 - S}{\theta \cdot X}$$

Donde: S es la concentración de DBO o DQO en el emanante.

El tiempo medio de retención celular se puede definir en función del volumen utilizado con cualquiera de las formulas siguientes:

- Definición a partir del tanque de aireación:

$$\theta_c = \frac{V_r + X}{Q_w \cdot X_w + Q_e \cdot X_e}$$

- Definición a partir del volumen total del sistema:

$$\theta_c = \frac{X_t}{Q_w \cdot X_w + Q_e \cdot X_e}$$

11.4.3. Producción de Fangos

Su conocimiento es importante de cara al diseño de las instalaciones que lo tratan. Es relación directa de la DBO eliminada y de la producción observada en la experiencia por un caso en concreto:

$$P_x = Y_{obs} \cdot Q \cdot (S_0 - S) \cdot 1000$$

11.4.4. Necesidad de oxígeno

No todo el oxígeno que se transfiere al sistema se utilizado para eliminar DBO, sino que parte se utiliza para crear tejido celular que será posteriormente purgado.

También debemos tener en cuenta la nitrificación cuando esta suponga un consumo de oxígeno elevado. En este caso, la necesidad se calcula:

$$KgO_2 = \frac{Q \cdot (S_0 - S) \cdot 10000}{f} - 1,42 \cdot P_x + 4,57 \cdot Q \cdot (N_0 - N) \cdot 1000$$

11.4.5. Necesidad de nutrientes

Los más importantes son el Nitrógeno y Fósforo. Hemos de asegurar una mínima cantidad de estos en el sistema biológico para mantenerlo activo. Debemos tener en cuenta que si operamos con tiempo de retención celular altos, el consumo de nutrientes es más elevado y podemos caer en el peligro de no depurar tan bien el mismo agua que con un tiempo menor.

11.4.6. Características del afluente

Como característica fundamental a tener en cuenta nos encontramos en el contenido de materia orgánica. Suele estar compuesta por tres constituyentes:

- *Materia orgánica soluble biodegradable*. No ha podido ser eliminada en el tratamiento biológico, proviene de compuestos orgánicos formados como

productos intermedios de reacciones de descomposición, o es materia proviniendo de la muerte y lisis celular.

- *Materia orgánica en suspensión.* Han sido producidas a lo largo del tratamiento pero escapan de la separación en el decantador. Igualmente pasa con ciertos sólidos orgánicos coloidales.
- *Materia orgánica no biodegradable.* Principalmente materia a la que no afecta el tratamiento biológico por la propia naturaleza, pero también encontramos subproductos de la descomposición biológica.

CAPÍTULO 12: LINEA DE AGUAS. TRATAMIENTO TERCIARIO

El tratamiento terciario es el procedimiento más completo para tratar el contenido de las aguas residuales, pero no ha sido ampliamente adoptado por ser muy caro.

Este tratamiento consiste en un proceso físico-químico que utiliza diversos tipos de procedimientos para reducir drásticamente los niveles de nutrientes inorgánicos, especialmente los fosfatos y nitratos del efluente final, aparte de que, el agua residual que recibe un tratamiento terciario adecuado no permite un desarrollo microbiano considerable, ya que neutraliza la amenaza que representan los virus, las bacterias y los quistes amebianos.

Los métodos, más utilizados, son los siguientes:

Tabla 5. Métodos de desinfección y depurado del sistema terciario.

| Método | Sistemas | Contaminantes |
|--------------------------|--|--|
| Control de Nutrientes | Bacterias | Amonio NH_4^+ Compuestos del P |
| Cloración | Diversos compuestos del Cloro | Materia Orgánica Olores |
| Ozono | Ozono | Materia Orgánica Olores |
| Rayos Ultravioleta | Radiación Ultravioleta | Microorganismos |
| Adsorción | Gel de sílice Alúmina Resinas orgánicas Carbón activo | Fenoles HC aromáticos Derivados Clorados |
| Intercambio Iónico | Resinas orgánicas de diferentes composiciones | Isótopos radiac. Hg Cromatos y Cianuros Antibióticos |
| Separación por membranas | Polímeros y copolímeros de síntesis | Pinturas Aceites |
| Ultrafiltración | Membranas de acetato | Metales |
| Electrodialisis | de celulosa | Nitrato amónico |
| Ósmosis Inversa | Membranas de diálisis selectiva | Minerales |

12.1. Control de Nutrientes

El nitrógeno y el fósforo son los principales nutrientes presentes en el vertido de aguas residuales. El problema de la excesiva concentración de estos nutrientes, reside en el vertido del agua a lagos, embalses o estanques, ya que estos provocan eutrofización:

- Los nutrientes que provocan un crecimiento excesivo de algas y de otras plantas que viven en el agua, causando una disminución del O_2 disuelto en estas aguas e imposibilitando la vida piscícola.

También es negativo a efectos de recursos hidráulicos, especialmente cuando se utilicen en el abastecimiento de agua, crecimiento ictiológico y usos recreativos.

Este problema también afecta negativamente a una efectividad de la desinfección con cloro (nitrógeno), y sobre el potencial de un agua residual de ser reutilizada.

12.1.1. Eliminación de fósforo

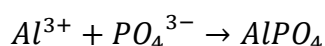
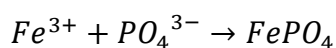
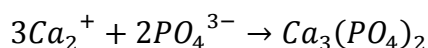
Últimamente se ha acentuado el interés en la eliminación del fósforo porque es el nutriente más crítico y porque la mayoría de los procesos de eliminación del nitrógeno son menos eficientes y más caros. La mayoría de procesos de tratamiento para la eliminación de nutrientes que se encuentran en funcionamiento hoy en día están proyectados por la eliminación del fósforo exclusivamente.

Algunos de los procesos de eliminación del fósforo son: precipitación química, procesos de fangos activados, bases de estabilización, osmosis inversa y electrodiálisis.

Normalmente el proceso de fangos activados, aunque están pensados en principio para eliminar compuestos orgánicos, también se pueden utilizar tanto para la eliminación de nitrógeno como la de fósforo, ya que las células biológicas contienen aproximadamente el 2% de fósforo y el 12% de nitrógeno en peso. En la planta depuradora de tipo urbano, normalmente se elimina del 10- 30% de fósforo. Aproximadamente se elimina 1,0mg/l de fósforo por cada 100mg/l de DBO5 soluble separada.

Las bases de estabilización obtienen unos buenos resultados en materia de eliminación si tienen condiciones favorables de luz y temperatura. En verano pueden obtener hasta el 80% de eliminación, y durante el invierno este rendimiento baja como mucho un 20%. La electrodiálisis y la osmosis inversa, obtienen buenos resultados, pero aún son procesos muy caros para tener una utilización generalizada.

Los procesos de precipitación química son los más utilizados en eliminación de fósforo. Los agentes más utilizados son el Fe_{3+} (como $FeCl_3$), el Ca_{2+} (como la cal), Al_{3+} (como aluminio, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$) y combinaciones de Fe_{3+} y cal. Las reacciones que se obtienen son:



El hierro obtiene un 90% de rendimiento, la cal un 50%, el aluminio del 95%, y la combinación de hierro y cal obtiene rendimientos del 95%.

12.1.2. Eliminación de nitrógeno

Hay varias razones que justifican la eliminación de los compuestos de nitrógeno.

El primero, es que provoca eutrofización como el fósforo. Los compuestos de nitrógeno exigen un consumo de oxígeno, que con las condiciones adecuadas forman compuestos amoniacales, que al mismo tiempo por oxidación forman nitritos, y finalmente nitratos. El nitrógeno amoniacal con presencia de cloro forma cloro-aminas y tricloruro de nitrógeno, que tienen un poder desinfectante considerablemente más bajo que el propio cloro, y además forman olores y sabores desagradables a las aguas potables. El nitrógeno amoniacal es tóxico para la vida acuática, por esto hace falta su eliminación de las aguas residuales.

El principal método de eliminación del nitrógeno es la nitrificación-desnitrificación, que se puede hacer en el mismo reactor biológico del tratamiento secundario. La fase de nitrificación consiste en una aireación, ya que es la oxidación del amoníaco. Y la desnitrificación es un proceso anaerobio en el que los nitritos y nitratos se transforman, en presencia de bacterias desnitrificantes, en nitrógeno gas y óxido de nitrógeno.

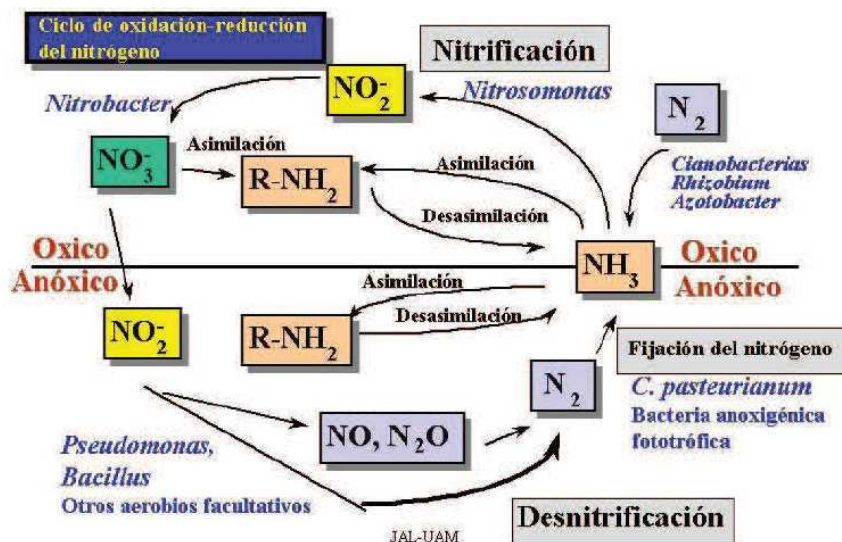


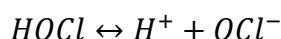
Ilustración 9. Ciclo de oxidación – reducción del nitrógeno.

12.2. Cloración

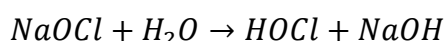
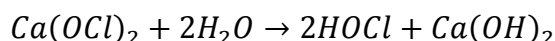
12.2.1. Desinfección con Cloro

El cloro es el desinfectante más utilizado, puesto que satisface casi todos los requisitos que se piden a un desinfectante.

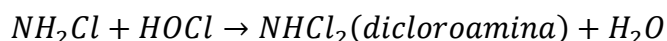
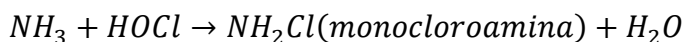
Los compuestos de cloro más utilizados son el cloro gas (Cl_2), el hipoclorito sódico (NaOCl), el hipoclorito de calcio [$\text{Ca}(\text{OCl})_2$] y el dióxido de cloro (ClO_2). El más utilizado es el cloro gas, puesto que es el más económico, pero si se tiene en cuenta la seguridad, entonces, se utilizara el hipoclorito sódico y el hipoclorito de calcio. El dióxido de cloro también se utiliza para que no reaccione con el amoníaco. Cuando el cloro gas entra en contacto con el agua, se forman reacciones de hidrólisis y de ionización:



El ión OCl^- y el HOCl , que se encuentran en el agua, se llaman cloro libre disponible. La distribución relativa de estas especies químicas es de mucha importancia, puesto que el HOCl tiene un poder desinfectante entre 40 y 80 veces más grande que el OCl^- . También se puede conseguir cloro residual con la adición de sales de hipoclorito:



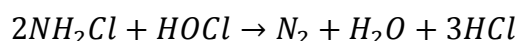
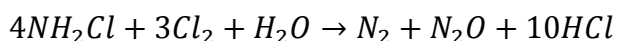
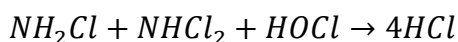
Las aguas residuales tienen cantidades de nitrógeno en forma de amoníaco y en forma de nitrato. Como el ácido hipocloroso es altamente oxidante, este reacciona con el amoníaco presente en el agua residual para formar cloroaminas y tricloruro de nitrógeno.



Estas reacciones dependen del pH, de la temperatura, del tiempo de contacto y de la reacción inicial entre el cloro y el amoníaco. La monocloroamina y la dicloroamina son las sustancias predominantes y se denominan cloro combinado disponible. Estas cloroaminas

también se utilizan para la desinfección, pero su velocidad de reacción es extremadamente lenta.

Estas reacciones que tiene el cloro libre con el amoníaco, provocan la denominada reacción al breakpoint. En la adición de cloro a las aguas residuales, primero se llega a una fase de destrucción del cloro residual por acción de compuestos reductores (Fe^{+2} , Mn^{+2} , H_2S o materia orgánica), hay una demanda inmediata. Después viene la fase en que se forman organoclorados y cloroaminas. En el siguiente paso se llega a la destrucción de las cloroaminas y los compuestos organoclorados, que algunos se transforman en tricloruro de nitrógeno, y otros en óxido de nitrógeno. En este punto se llega al breakpoint, dónde teóricamente la relación ponderal de cloro y nitrógeno amoniacal es de 7,6:1. Si continuamos añadiendo cloro tras el breakpoint, se produce un aumento del cloro residual libre y combinado, y la presencia de compuestos organoclorados no destruidos. Las reacciones que se obtienen son:



La razón principal para obtener cloro residual libre (tras el breakpoint) es que aseguramos la desinfección del agua, puesto que el poder desinfectante de este es muy superior al de las cloroaminas. Dos de los problemas asociados con la adición de cloro, son un aumento de los sólidos disueltos totales y una bajada del pH del agua. La caída del pH resulta por la formación de ácido clorhídrico en la reacción del breakpoint.

12.2.1.1. Factores que afectan a la eficacia

Los factores son: la eficacia germicida del cloro, la eficacia germicida de los diferentes compuestos del cloro, la importancia de la mezcla inicial, la reacción al breakpoint, el tiempo de contacto, las características del agua residual y las características de los microorganismos.

Aparte de las condiciones ambientales de pH, temperatura..., se deben tener en cuenta la cantidad de organismos formadores de colonias, y el cloro residual que permanece en el agua después de un tiempo. Se ha demostrado que la eficacia germicida de la

desinfección depende principalmente del cloro residual (libre y combinado) presente, del tiempo de contacto, t... También se ha constatado que si aumentamos una de las variables disminuyendo simultáneamente la otra, se consigue el mismo grado de desinfección. Utilizando un reactor dotado de un dispositivo eficaz de agitación, se consigue la siguiente relación de reducción de organismos:

$$\frac{N_t}{N_0} = (1 + 0,23 \cdot C_t \cdot t)^{-3}$$

Donde:

- + N_t es el número de organismos coliformes en el instante t .
- + N_0 es el número de organismos coliformes en el instante t_0 .
- + C_t es el cloro residual medido amperométricamente en el instante de tiempo t , mg/l.
- + t es el tiempo de permanencia, min.

La eficacia germicida del ácido hipocloroso (HOCl), es muy superior a la de los otros compuestos de cloro. Por detrás le siguen el ión hipoclorito (OCl^-) y la monocloraamina (NH_2Cl). Pero adecuando un tiempo de contacto adecuado, la monocloraamina puede llegar a ser tan eficaz como el ácido hipocloroso.

Una mezcla inicial adecuada es muy importante en el proceso de cloración. Se ha comprobado que la adición de cloro en medio fuertemente turbulento, conduce a índices de mortalidad de dos órdenes de magnitud superior a los conseguidos con la adición de cloro directamente a un reactor en condiciones de funcionamiento similares.

Debido a que el cloro reacciona con los compuestos de nitrógeno y forma cloroaminas, hasta que no se llega al breakpoint no se forma el ácido hipocloroso. Pero esto tiene una importancia relativa, puesto que las monocloraaminas tienen los mismos efectos que el ácido hipocloroso pero con la diferencia de que necesita un tiempo de contacto superior. Es más importante la mezcla inicial, que llegar al breakpoint. Como no es, económicamente, demasiado viable la reacción de cloro hasta llegar al breakpoint, lo que se hace es aumentar el tiempo de contacto, y así se consigue la misma desinfección. El reactor más utilizado para conseguir un mejor tiempo de contacto, es el reactor de flujo de pistón.

En presencia de compuestos orgánicos que presentan interferencias en el proceso, el cloro residual total no se puede utilizar como medida fiable para la evaluación de la efectividad bactericida del cloro.

Según las características de los afluentes, la eficacia germicida puede variar notablemente. Estas características son:

- El grado de interferencia de los compuestos buscados depende de sus grupos funcionales y de su estructura química.
- Los compuestos saturados y carbohidratados ejercen una pequeña o nula demanda de cloro y no parecen interferir en el proceso de cloración.
- Los compuestos orgánicos con enlaces no saturados pueden ejercer una demanda inmediata de cloro, dependiendo de sus grupos funcionales. En algunos casos, los compuestos resultantes pueden aparecer en el análisis como cloro residual y, en cambio, tienen poco o nulo potencial de desinfección.
- Los compuestos con anillos policíclicos que contienen grupos hidroxilo y los compuestos que contienen grupos de azufre reaccionan fácilmente con el cloro para formar compuestos con escaso o nulo potencial bactericida, pero que aparecen como cloro residual en los resultados de los análisis.
- Para conseguir elevadas reducciones del contenido bacteriano en presencia de compuestos orgánicos que interfieran en el proceso, serán necesarias dosis adicionales de cloro y tiempo de contacto más grande.

La presencia de sólidos en suspensión también hace variar la eficacia germicida del cloro. Otro factor a tener en cuenta, es la edad de los microorganismos, puesto que se necesitan más dosis de cloro y tiempos de contacto superior para una colonia de 10 días de vida, que el de una colonia de un día o menos.

12.2.2. Decloración

La decloración consiste en la eliminación de la totalidad del cloro combinado residual presente en el agua tras la cloración.

Los compuestos de cloro más utilizados son el cloro gas (Cl_2), el hipoclorito sódico (NaOCl), el hipoclorito de calcio $\text{Ca}(\text{OCl})_2$, y el dióxido de cloro (ClO_2).

Normalmente si lo que se quiere por encima de todo es seguridad, se utilizan el hipoclorito sódico y el hipoclorito de calcio, pero el cloro gas es el más económico y utilizado pero es el más peligroso. El dióxido de cloro también se utiliza porque tiene la propiedad de que no reacciona con el amoníaco. Aún así el más utilizado es el cloro gas. Las reacciones del cloro gas con el agua son de hidrólisis y de ionización:



12.2.2.1. Toxicidad de los comp. de Cl residual

La cloración es uno de los métodos más utilizados para la destrucción de organismos patógenos y otros organismos perjudiciales que pueden poner en peligro la salud humana. El problema de la cloración es la formación de otros compuestos tóxicos, que pueden tener efectos adversos sobre las aguas en las que se descargan.

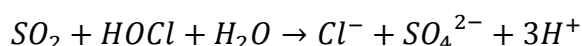
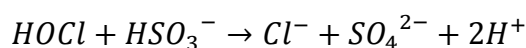
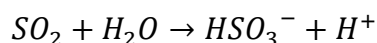
12.2.2.2. Análisis de la decloración

El producto químico más utilizado para la decloración de aguas es el dióxido de azufre (SO_2). También se puede utilizar para la decloración el carbón activado, el sulfito de sodio (Na_2SO_3) y metabisulfito de sodio ($Na_2S_2O_5$).

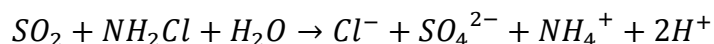
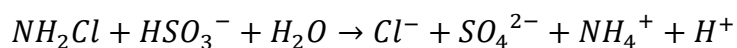
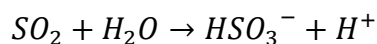
12.2.2.3. Dióxido de azufre

El gas dióxido de azufre elimina el cloro libre, la monocloramina, la dicloramina, el tricloruro de nitrógeno y los compuestos policlorados. Cuando se añade dióxido de azufre al agua residual, tienen lugar las siguientes reacciones:

Reacciones con el cloro:



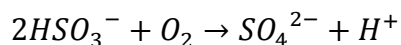
Reacciones con cloroaminas:



Teóricamente, la relación ponderal estequiométrica entre el dióxido de azufre y el cloro es de 0,9:1. Pero en la práctica se comprueba que se necesita 1mg/l de dióxido de azufre para decolorar 1 mg/l de cloro residual (expresado como Cl_2).

Las reacciones entre el azufre y el cloro y las cloroaminas son casi instantáneas, por lo tanto el tiempo de contacto no será un factor esencial y se podrá prescindir de utilizar cuartos de contacto. La relación entre el cloro libre y el cloro total combinado residual antes de la decoloración es el factor determinante de si el proceso de decoloración se completará o si se conseguirá una decoloración parcial. Una relación menor del 85% indica que existe una cantidad de nitrógeno orgánico que interfiere en el proceso del cloro residual libre.

En la mayoría de los casos, la decoloración con dióxido de azufre es un proceso unitario muy fiable. Es conveniente no añadir dióxido de azufre en exceso, no sólo por el coste innecesario, sino también debido a la demanda de oxígeno que produce el exceso de dióxido de azufre.



El resultado de esta reacción es una reducción del contenido de oxígeno disuelto en el agua residual, junto con el aumento de los valores medidos del DBO, la DQO, y un posible ascenso del valor del pH.

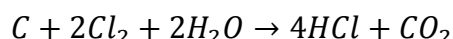
Las instalaciones de decoloración con dióxido de azufre son parecidas a los sistemas de cloración, debido a que el equipo del dióxido de azufre es intercambiable con el de cloración. Los parámetros básicos de control de este proceso son:

1. Una adecuada dosificación basada en un control preciso (amperométrico) del cloro residual combinado.
2. Una mezcla adecuada en el punto de aplicación del dióxido de azufre.

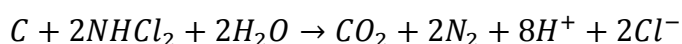
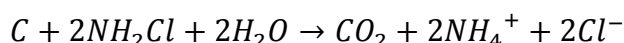
12.2.2.4. Carbón activo

La adsorción sobre carbón activo proporciona una completa eliminación tanto de cloro residual libre como combinado.

Reacciones con el cloro:



Reacciones con cloroaminas:



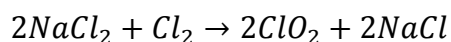
El carbón activado granular se utiliza en filtros de gravedad o a presión. Si el carbón se utiliza exclusivamente para la decoloración, este proceso ha de ir precedido de otro a base de carbón activado para la eliminación de otros constituyentes susceptibles de ser eliminados.

Como la utilización de carbón activo para la decoloración es muy efectiva, hace falta plantearse la decoloración en plantas que sea necesario la eliminación de altos niveles de eliminación de materia orgánica. Aunque hay que indicar el alto coste de este reactivo.

12.2.3. Desinfección con ClO_2

El dióxido de cloro es otra sustancia bactericida de poder igual o superior al del cloro. Este resulta más efectivo en la inhibición e inactivación de virus. El problema del dióxido de cloro radica en su elevado coste económico.

El dióxido de cloro es un gas inestable y explosivo, por lo tanto su generación se debe hacer en el mismo lugar de suministro para evitar problemas. La reacción de formación del dióxido de cloro se hace con cloro gas y clorito sódico:



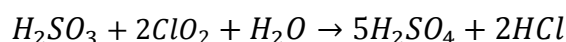
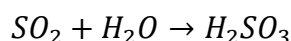
El agente desinfectante es el dióxido de cloro libre disuelto. Su elevado poder germicida se explica por su elevado poder de oxidación, que provoca la interrupción y destrucción del proceso de

síntesis de proteínas de las bacterias, virus y otros organismos patógenos.

Uno de los problemas de la utilización de dióxido de cloro es la formación de subproductos potencialmente tóxicos como cloritos y cloratos. Pero estos se degradan a una velocidad mayor que el cloro residual, por lo tanto no representan una amenaza tan directa para la vida acuática como el cloro residual. Pero la utilización de dióxido de cloro es, por otra parte, ventajosa porque este no reacciona con el amoníaco para formar cloroaminas (que son potencialmente tóxicas), y también porque no forma compuestos orgánicos halogenados en cantidades apreciables.

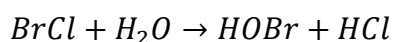
Su impacto ambiental sería igual al del proceso de cloración, puesto que en el proceso de formación de dióxido de cloro, queda parte de cloro residual, pero por parte del dióxido de cloro no hay connotación negativa porque este no reacciona ni se disocia con el agua.

Su decloración se realiza con dióxido de azufre:

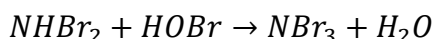
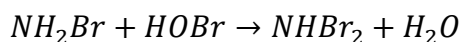
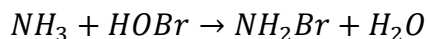


12.2.4. Desinfección con BrCl

El cloruro de bromo en contacto con el agua se disocia formando ácido hipobromoso, el cual es el más potente germicida de los compuestos de bromo.



El cloruro de bromo también forma compuestos de aminas halogenadas (bromo aminas):



Estas bromo aminas que se forman, son menos estables que las cloroaminas, y en una hora se pueden descomponer en sales de bromo y cloro.

La efectividad del cloruro de bromo no está demostrada, puesto que todavía no se sabe el mecanismo de desinfección celular, pero por la

similitud que presenta el ácido hipobromoso con el ácido hipocloroso, parece ser que presentan las mismas características.

La formación de subproductos de desinfección con el cloruro de bromo no son demasiado significativas, puesto que los compuestos que se forman (como sustancias orgánicas bromadas), son muy susceptibles de experimentar una degradación hidrolítica y fotoquímica, y no sería previsible que llegarán a las aguas receptoras. Un problema sería la bio acumulación del Br en la fauna piscícola pero la poca cantidad de compuestos orgánicos bromados que se bio acumulan en los pescados de las aguas receptoras, no son tan significativas como las de otros compuestos tóxicos ya presentes.

12.3. Desinfección con Ozono

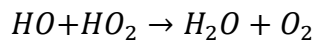
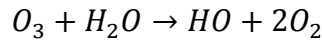
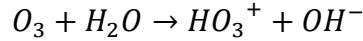
Los recientes avances tecnológicos han permitido que el ozono sea una alternativa económicamente competitiva para la desinfección de las aguas residuales. También se puede utilizar para el control de olores y para la eliminación de materia orgánica soluble refractaria, sustituyendo el proceso de carbón activo.

12.3.1. Generación de ozono

Debido a que el ozono es químicamente inestable (se descompone a O_2 muy rápidamente después de su formación), obliga a un proceso de generación in situ. El método más eficaz es la generación por descarga eléctrica. El ozono se genera a partir del aire, o de oxígeno puro al hacer circular una corriente de alto voltaje entre dos electrodos separados por un pequeño espacio. La corona de alta energía que se produce con este sistema permite disociar una molécula de oxígeno, para que al juntarse con las otras dos, produzca dos moléculas de ozono. La corriente de gas que se produce en el proceso puede contener entre 0,5 y 3 % de ozono si se trabaja con aire, y aproximadamente el doble si se trabaja con oxígeno puro, de entre 1 y 6%.

12.3.2. Química del ozono

Algunas de las propiedades químicas del ozono se pueden ilustrar basándose en sus reacciones de descomposición:



Los radicales libres que se generan, HO y HO₂ tienen un gran poder oxidante, y son los probables responsables de la acción desinfectante del proceso. Estos radicales libres también tienen suficiente capacidad oxidante como para hacer reacción con otras impurezas presentes en las soluciones acuosas.

12.3.3. Efectividad del ozono

El ozono es un oxidante extremadamente reactivo, y está ampliamente aceptado que la destrucción de las bacterias se produce directamente debido a la desintegración de la pared celular. También es un virucida muy efectivo (superior a la del cloro). La ozonización es un proceso que no produce sólidos disueltos, ni reacciona con el nitrógeno presente en el agua, ni el pH del agua. En los casos que se precisa la decoloración del agua residual, es factible utilizar la ozonización como una buena alternativa.

12.3.4. I.A. de la desinfección con ozono

Los efectos del ozono son beneficiosos para el medio ambiente. Aunque hay estudios que dicen que el ozono es tóxico para la vida acuática, la realidad es que se disipa rápidamente, no es de esperar que haya ozono residual a la hora de descargar el efluente. También se ha estudiado que pueden formar compuestos tóxicos mutágenos o carcinógeno, pero estos compuestos en el agua ozonada, sólo se mantienen en cuestión de minutos. También se ha visto que el ozono ayuda a la destrucción de sustancias nocivas como el ácido húmico y el málico. Su aplicación previa al proceso de desinfección por cloración reduce la posibilidad de formación de trihalometanos.

12.3.5. Otras ventajas del uso del ozono

Eleva la concentración de oxígeno disuelto del afluente, hasta valores cercanos a la concentración de saturación, como consecuencia una rápida descomposición del ozono en oxígeno. Esto puede eliminar la opción de airear el afluente para cumplir con las normativas sobre concentración de oxígeno disuelto.

12.4. Desinfección con Rayos U.V.

Se ha podido comprobar que una correcta dosificación de rayos ultravioletas es un eficaz bactericida y virucida, además de no contribuir a la formación de compuestos tóxicos.

Un caso práctico muy extendido en las zonas de fuerte insolación es la desinfección de las aguas procedentes de depuración en grandes balsas que tienen normalmente una profundidad de unos 40-50 cm, para facilitar la penetración de la luz solar y que a través de los ultravioletas que contienen se produzca una desinfección natural y haga posible su reutilización en regadíos. A esta práctica, que es bien conocida, se la denomina lagunaje.

Hace casi 100 años que la ciencia identificó esta parte del espectro responsable de este conocido efecto y lo situó entre las longitud de onda de 240-280 nm. y los denominaron Rayos U.V.

Hoy en día, esta energía puede ser reproducida artificialmente siendo generada por lámparas de arco que contienen un gas inerte y mercurio, desprendiendo gran cantidad de rayos ultravioletas desinfectantes iguales a los contenidos en luz solar, pero centenares de veces más fuertes. Ningún tipo de virus, bacteria, hongo, o espora es capaz de resistir este tratamiento que además se realiza en pocos segundos. Además de esta aplicación, los rayos ultravioletas se utilizan para romper enlaces químicos degradando sustancias peligrosas que pueda contener el agua, como son los pesticidas (fotólisis), también su uso está muy extendido en el tratamiento de superficies como son la esterilización de equipos quirúrgicos, tratamiento del pan, carne, etc. Por último también se puede hacer servir en el laboratorio para identificar sustancias como por ejemplo el revelado de placas de cromatografía en capa fina o sobre papel.

12.4.1. Fuentes de radiación ultravioleta

Los métodos de generación de radiación ultravioleta más comunes para la desinfección de aguas residuales son las lámparas de arco de cuarzo de baja presión, de media presión y de alta presión. La lámpara de arco es un tubo de cuarzo similar a un fluorescente de luz convencional, que está lleno de gas inerte que proporciona la descarga eléctrica inicial entre los bornes y es capaz de excitar la pequeña cantidad de mercurio presente. Una descarga de estas a baja presión produce una línea de espectro de 185,0 a 253,7 nm.

Si aumentamos la corriente a través de la lámpara de arco, esta se calienta rápidamente, la presión aumenta y produce el típico espectro de media presión que va más o menos desde los 170 nm a los 350 nm. Los U.V. tienen un gran poder de disociación, los cuales pueden disociar entre otras, dicloroaminas ($\gg 300$ nm) y tricloraminas ($\gg 330$ nm).

12.4.2. Lámparas de arco

Los equipos de ultravioletas en general se diferencian por ser de baja, media y alta presión, la instalación de cada una de las modalidades está recomendada dependiendo de la potencia y caudal requeridos, en general se limitará la baja presión a potencias comprendidas entre 8-100 W con un caudal máximo de 15 m³/h, la media presión a potencias de 500-2000 W con caudales de hasta 450 m³/h y la alta presión a potencias de 3500 W en lo sucesivo y caudales superiores a los 450 m³/h.

Las lámparas están protegidas por un tubo de cuarzo que es el único material que deja pasar los U.V. y que la protege del contacto directo con el agua a tratar, montado todo dentro del cuarto construido en acero inoxidable que puede ser pulido interiormente para los equipos en que se requiera esta calidad.

El problema de utilizar lámparas de baja presión, es que si se necesitan potencias altas, se deben montar equipos multilámparas, los cuales tienen el inconveniente que si una de las lámparas se deteriora se produce una sombra dentro del aparato que hace que haya una parte del agua que salga sin tratar. En cambio las lámparas de media presión sólo necesitan una sola lámpara que es fácilmente monitorizable y no provoca sombras dentro del cuarto de tratamiento en caso de deterioro de esta, es automatizable y emite una radiación

germicida mucho más potente, además, la configuración con una sola lámpara permite cambiarla en pocos minutos sin necesidad de parar el flujo de agua a tratar.

Cuando la célula está sometida a una radiación U.V. sucede que está penetrada por la pared celular y la alta energía de los fotones de U.V. son absorbidos por las proteínas de las células y su ADN.

Los rayos U.V. rompen el metabolismo de las proteínas y como consecuencia alteran químicamente el ADN por lo que los microorganismos no pueden reproducirse. Los organismos incapaces de metabolizarse y reproducirse no pueden causar daños o enfermedades.

La desinfección es sólo un ejemplo de un amplio rango de aplicaciones de los efectos fotoquímicos de los rayos U.V. y se han desarrollado otros usos industriales aprovechando que además de dañar el ADN de los organismos vivos, los U.V. afectan otros enlaces químicos como por ejemplo C = C (190 nm), O-H (235 nm), C-F (245 nm)...

12.4.3. Cálculo de las dosis de Ultravioleta

El cálculo de las dosis de ultravioletas vendrá determinado por la siguiente ecuación: Dosis U.V. = INTENSIDAD x TIEMPO (mJ/cm^2)

La intensidad vendrá dada por la potencia de la lámpara y el tiempo por el periodo de exposición a los U.V.

El valor D10 de cualquier microorganismo se define como la dosis necesaria, medida en mJ/cm^2 , de U.V. para obtener el 90% de su reducción. La relación entre la dosis y la reducción de los microorganismos es logarítmica.

Cada industria requiere una dosis diferente, dependiendo de la contaminación de microorganismos presentes. Por ejemplo, el agua para la industria farmacéutica requiere $32 \text{ mJ}/\text{cm}^2$, mientras que el agua a desinfectar a la salida de un decantador secundario de una depuradora exige $60 \text{ mJ}/\text{cm}^2$.

12.4.4. Principales aplicaciones

Se pueden utilizar en medio líquido, aire o superficies:

Líquidos:

1. Agua municipal (eliminación de virus, bacterias y pesticidas)
2. Agua de proceso
3. Agua de uso farmacéutico (destrucción del ozono y eliminación de TOC)
4. Emulsiones o salmueras para la industria alimentaria o farmacéutica
5. Desinfección de jarabes de azúcar (eliminación de levaduras, esporas)
6. Regeneración de aguas depuradas (eliminación de virus, bacterias, etc.)
7. Piscinas (destrucción de cloroaminas)
8. Acuicultura

Aire:

- Conducciones de aire en fábricas o locales públicos
- Zonas limpias en hospitales
- Espacios libres en el interior de tanques

Superficies:

- Materiales embalados
- Cintas transportadoras
- Productos varios

Pero on los rayos ultravioletas hay un problema. La eficacia de este proceso depende de la penetración de los rayos en el agua. La geometría de contacto entre la fuente emisora de la luz y el agua es de gran importancia debido a que la materia en suspensión, las moléculas orgánicas disueltas y la propia agua, además de los microorganismos, absorberán la radiación. Por lo tanto, antes de la aplicación de los rayos ultravioletas es conveniente utilizar un filtro de arena para disminuir la turbidez del agua y los sólidos en suspensión a un nivel óptimo para la aplicación de los rayos ultravioletas.

12.5. Adsorción con Carbón Activo

La adsorción es la concentración de un soluto en la superficie de un sólido. Este fenómeno tiene lugar cuando se coloca esta superficie en contacto con una solución. Una capa de moléculas de soluto se acumula en la superficie del sólido debido al desequilibrio de las fuerzas superficiales.

En el interior del sólido, las moléculas están totalmente rodeadas por moléculas similares y por lo tanto sometidas a fuerzas equilibradas. Las moléculas de la superficie están sometidas a fuerzas no equilibradas. Debido a que estas fuerzas residuales son suficientemente elevadas, pueden atrapar moléculas de un soluto que

esté en contacto con el sólido. Este fenómeno se denomina adsorción física (o de Van der Waals).

El sólido (por ejemplo, carbón activo) se denomina adsorbente y el soluto a adsorber se denomina adsorbato. La capacidad de adsorción es función de la superficie total del adsorbente, ya que cuando más grande sea esta se dispone de mayor número de fuerzas residuales no equilibradas por adsorción.

12.5.1. El C.A. como adsorbente

Los carbones activos, en forma granular o en forma de polvo, se han utilizado profundamente como adsorbentes en las plantas de tratamiento de agua para eliminar los olores o sabores que producen los contaminantes. Se prevé que con la atención que se está presentando en las mayores exigencias de calidad de los efluentes, el uso de los carbones activos en el tratamiento terciario de las aguas residuales aumentará en el futuro.

Preparación de los carbonos activos.

Los carbonos activos se preparan a partir de materias primas carbonosas como la madera, lignito, carbón y cáscaras de nueces mediante procesos térmicos que implican la deshidratación y la carbonización, seguidos por la aplicación de vapor caliente. Se obtiene una estructura muy porosa con grandes áreas superficiales (tan elevadas como 1000 m²/g).

Reactivación de los carbonos activos.

La gran ventaja del carbón activo como adsorbentes descansa en la posibilidad de reactivación (hasta 300 veces o más) sin pérdida apreciable de poder de adsorción. Usualmente la reactivación se hace calentando el carbón activo agotado hasta 930°C aproximadamente en una atmósfera aire-vapor (reactivación térmica). Esta operación puede realizarse en hornos fogar múltiple u hornos rotativos. Los productos orgánicos adsorbidos se queman y el carbón activo se restaura básicamente hasta la capacidad inicial de adsorción.

12.5.2. Isotermas de adsorción

Las relaciones de equilibrio entre adsorbente y adsorbato se describen mediante las isotermas de adsorción (Langmuir, Freundlich

y BET). Se establece el equilibrio de adsorción cuando la concentración de contaminante que permanece en la solución se encuentre en equilibrio dinámico con la que hay presente en la superficie del sólido. Los datos pueden obtenerse en ensayos discontinuos de laboratorio del pH, de la temperatura y de otros variables sobre el proceso de adsorción.

12.5.3. Funcionamiento de la adsorción

En la práctica, la adsorción en carbón activo se lleva a cabo en forma continua o en forma discontinua. En la forma discontinua, el carbón activo en polvo se mezcla con el agua residual y se deja decantar. La continua se hace en columnas que contienen carbón granulado (de 40 a 80 mallas). Es más económica la operación continua que la discontinua y es la que tiene más aplicaciones.

La eliminación de contaminantes en las columnas de carbón activo se hace mediante tres mecanismos: (1) adsorción, (2) fijación de partículas granuladas, y (3) deposición parcial de materia coloidal. Los porcentajes de eliminación dependen fundamentalmente del tiempo de contacto entre el agua residual y el carbón activo.

El agua residual fluye a través de la columna de carbón activo separando los contaminantes y purificando progresivamente el agua tratada. No hay una demarcación limpia entre el agua purificada y la alimentación. En vez de esto, se forma una zona de transición en la cual la concentración de contaminantes varía desde un máximo, al final de la zona, hasta prácticamente cero en la parte inicial de esta. Esta zona es la proporción activa de la columna y se denomina zona de adsorción.

Normalmente, la operación de una columna de adsorción no se lleva nunca hasta su agotamiento. Normalmente se llega a una concentración de efluente C_e , que se denomina concentración de ruptura. Normalmente no es económico enviar el contenido a regenerar a la concentración C_e , ya que queda muy por debajo del agotamiento de la columna. Lo que se suele hacer es utilizar varias columnas operadas en serie, de forma que el efluente de una columna fuera la alimentación de la otra. En el caso de un sistema bien diseñado, cuando la concentración del efluente de la última columna de la serie llega a la ruptura, C_e , la columna inicial de la serie estaría casi agotada. En este momento la columna inicial se enviaría al horno de regeneración y el efluente se aplicaría a la siguiente columna de la serie. Simultáneamente una columna fresca,

ya regenerada, se situaría al final de la serie inmediatamente delante de la columna en la cual la concentración de ruptura C_e , haya llegado a este momento. De esta forma, la concentración final del efluente de la serie de columnas nunca supera la concentración de ruptura especificada C_e .

12.6. Intercambio Iónico

El intercambio iónico es un proceso en que los iones que se mantienen unidos a grupos funcionales sobre la superficie de un sólido por fuerzas electrostáticas se intercambian por iones de una especie diferente en disolución.

Este procedimiento ha llegado a ser notablemente importante en el campo del tratamiento de las aguas residuales. Ya que la desmineralización completa puede conseguirse mediante intercambio iónico, es posible utilizar procesos de tratamiento de corriente partida, en los que parte del agua residual efluente se desmineraliza y se combina después con parte del afluente que ha estado desviado del tratamiento para producir un efluente de calidad específica.

Resinas de intercambio iónico: hace unos años las zeolitas naturales eran los únicos intercambiadores de iones disponibles. Debido a un pobre poder de intercambio, las hacían inviables económicamente para el tratamiento de aguas residuales. Ahora las zeolitas naturales han sido sustituidas por las sintéticas como el estireno y el divinilbenceno (DVB). Estas resinas son polímeros insolubles a los que se añaden grupos básicos o ácidos mediante reacciones químicas. Estos grupos son capaces de intercambio reversible con los iones presentes en una disolución. El número total de grupos funcionales por unidad de peso (o unidad de volumen) de resina, determina la capacidad de intercambio, mientras que el tipo de grupo funcional, determina la selectividad iónica y la posición del equilibrio de intercambio. Las partículas de resina tienen un diámetro de 0,5 mm aproximadamente y se utilizan en las columnas rellenas utilizando caudales de 200 a 500 l/ (min) (m^2).

Se pueden construir curvas de rotura para las resinas de intercambio iónico de la misma manera que las curvas de rotura por adsorción de solutos en carbón activo. C_e será el punto de rotura. El punto C_d el punto en el que el lecho está casi exhausto. Las concentraciones C_e y C_d se eligen normalmente para el 5 % y el 95 %, respectivamente, de la concentración del afluente C_o . La operación de las columnas de

intercambio iónico en serie y en programa de regeneración, para el caso de un sistema bien diseñado sigue los mismos principios que para el caso de las columnas de adsorción de carbón activo.

12.7. Separación por Filtración

Este apartado engloba a la separación por membranas y a la ultrafiltración.

La filtración se utiliza de manera generalizada, para conseguir una mayor eliminación de sólidos en suspensión (incluida la DBO) de los afluentes de los procesos de tratamiento biológicos y químicos, y también se utiliza para la eliminación del fósforo precipitado por vía química. En las aplicaciones de reutilización, la filtración del agua residual es necesaria para su utilización para el riego de cultivos, irrigación de parques y jardines, y para su uso en piscinas e instalaciones de recreo en las que exista contacto corporal con los usuarios.

Los mecanismos de filtración son complejos, pueden resultar de la combinación de diversos factores, como el arrastre (mecánico o por colisión aleatoria), la intercepción dentro del medio filtrante, la sedimentación por gravedad, impacto inercial de las partículas que presentan adhesión al medio filtrante, y el crecimiento de sólidos biológicos en el seno del medio, lo cual favorece la eliminación de sólidos.

El cálculo de la superficie de filtración se establece en función de los valores máximos de velocidad de filtración admisible y los caudales punta de la planta.

La velocidad de filtración máxima permitida se suele establecer en función de las limitaciones de los organismos reguladores.

12.7.1. Elección del tipo de filtro

Tipos de filtros

Los filtros se pueden clasificar en filtros continuos o semicontinuos. Dentro de cada clase, existen diferentes tipos de filtro en función de la profundidad del lecho filtrante, el tipo de medio filtrante utilizado, en función de si el medio filtrante está o no estratificado, del sistema

de funcionamiento, y en función del método utilizado para la manipulación de los sólidos.

Características de funcionamiento de los filtros

La cuestión crítica asociada a la elección de cualquier tipo de filtro de medio granular, es si su funcionamiento será el previsto. Normalmente si se tiene que tratar una agua de alta calidad (7 a 9 NTU como máximo), el filtro de arena reduce la turbidez a 2 NTU, pero si el agua tiene una turbidez superior a 9 NTU, se necesita la adición de productos químicos para reducirla a 2 NTU.

En una EDAR nueva, la elección del filtro estará en función del espacio disponible, los costes y la duración del periodo de filtración. En cambio, si la EDAR no es nueva y se tiene que utilizar un filtro como tratamiento avanzado, se escogerá en función del nivel de calidad que tiene que tener el afluente para su vertido en condiciones acordes a la legislación.

12.7.2. Lechos filtrantes

Lechos estratificados y no estratificados

Los medios filtrantes se pueden estratificar dependiendo del tipo de procedimiento utilizado para el lavado del filtro a contracorriente. Si se utiliza sólo agua pura para el lavado a contracorriente y fluidificación de un medio filtrante único, el filtro estratificará de manera que las partículas de menor medida se saturan en la superficie. Si en cambio, para el lavado se utiliza un procedimiento mixto de agua o aire simultáneamente, la mezcla de las partículas finas y las más gruesas resultará en un filtro no estratificado.

L. filtrantes poco profundos de medio único estratificado

Los más utilizados son los de profundidad inferior a 0,3 m. Principalmente los más utilizados son: el filtro de lecho pulsante, y el de puente móvil. El filtro de lecho pulsante incorpora un medio de arena fina de poca profundidad del estratificado. Los sólidos se mantienen en suspensión en la zona superior del lecho filtrante gracias a un difusor de aire situado justo por encima de su superficie. A través del sistema de lavado situado en la zona inferior, periódicamente se genera una pulsación de aire que vuelve a poner en suspensión los sólidos retenidos en la superficie del lecho y

redistribuye los sólidos atrapados en los niveles superiores del filtro. Al cabo de un tiempo determinado, el filtro se lava a contracorriente mediante el sistema de drenaje inferior. Estos filtros han causado resultados satisfactorios en el tratamiento de afluentes procedentes de tratamiento primero o secundario.

Los de puente móvil incorporan un medio filtrante de arena de 0,28 m constituido por una serie de celdas filtrantes. El lavado de cada una de las celdas se realiza mediante un puente móvil que recorre toda la longitud del filtro.

Lechos filtrantes de medio único no estratificados

Hay varios tipos de filtros de medio único no estratificados. El primero de estos, utiliza lechos de profundidades de hasta 2 m con medios filtrantes únicos, uniformes, formados por partículas grandes. Estos permiten periodos de filtración más prolongados. En función del tipo de proceso de tratamiento, estos filtros pueden utilizarse para la desnitrificación simultánea del agua residual, pero esto puede implicar una reducción de la velocidad de filtración. Sus desventajas son: (1) las elevadas velocidades necesarias para fluidifican el lecho filtrante durante el proceso de lavado a contracorriente para asegurar una limpieza eficaz, (2) la necesidad de un medio formado por partículas de medida uniforme, y (3) el sobre coste de las instalaciones de lavado y la estructura necesaria para albergar los filtros profundos.

En el segundo tipo de filtro, se utiliza un único medio filtrante formado por partículas de diferentes medidas, y un proceso de lavado a contracorriente en el que se combina el agua con el aire. Este sistema de lavado elimina la habitual estratificación que se produce en los lechos filtrantes, este sistema también permite arrastrar el material acumulado en la superficie del filtro sin haber de fluidificar todo el lecho.

También existe el filtro de flujo ascendente de lavado continuo. El flujo es ascendente a través del medio filtrante (que suele ser arena), que a la vez se desplaza en el sentido a contracorriente.

Lechos filtrantes de medio doble o de medio múltiple.

Los de medio doble están compuestos por: (1) arena y antracita, (2) carbón activado y arena, (3) lechos de resina y arena, y (4) lechos de resina y antracita.

Los lechos filtrantes de medio múltiple pueden estar compuestos por: (1) antracita, arena e ilimenta, (2) carbón activado, antracita y arena, (3) lechos de resinas esféricas pesadas, antracita y arena, y

(4) carbón activado, arena y iliminta. Lo más recomendable cuando se trata de utilizar filtros de medio doble o múltiple, es realizar estudios en planta piloto, porque el funcionamiento del filtro está íntimamente ligado a las características del líquido a filtrar y al diseño del material filtrante.

12.7.3. Carac. de los materiales filtrantes

Cuando ya se ha elegido el tipo de filtro, lo que se necesita determinar son las características del medio filtrante. Esto implica la elección de la medida grande, especificada en función de la medida efectiva, y del coeficiente de uniformidad, UC, el peso específico, la solubilidad, la dureza y la profundidad de los diferentes materiales que conforman el filtro.

12.7.4. Sistemas de lavado a contracorriente

La filtración en medio granular no se puede hacer sin considerar un sistema de lavado a contracorriente para su buen funcionamiento. Este lavado se puede hacer: (1) con agitación superficial auxiliar, (2) con agua y arrastre por aire auxiliar, y (3) mixto con aire y agua. Excepto en el tercer caso se hace necesaria una fluidificación del medio granular.

12.7.5. Filtración con adición de prod. quím.

Si la calidad del agua residual que sale de la decantación secundaria no es satisfactoria, la utilización de adición de productos químicos en la filtración en medio granular, consigue buenos resultados en materia de reducción de determinados parámetros. Esta adición también se utiliza para disminuir unos objetivos específicos, como por ejemplo la reducción del fósforo. Estos productos químicos suelen ser diversos polímeros orgánicos, alúmina y cloruro férrico.

12.8. Electrodialisis

La electrodialisis se desarrolló para la desalinización del agua de mar. Es un método de eliminación de nutrientes inorgánicos (fósforo y nitrógeno) de las aguas residuales y, resulta una posible etapa final en los procesos de tratamiento de aguas residuales.

Los componentes básicos de la celda son una serie de membranas hechas de resina de intercambio iónico. Estas membranas sólo son permeables a las especies iónicas y son relativamente selectivas de un tipo específico de iones.

Existen dos tipos de membranas utilizadas en las celdas de electrodialisis: (1) membranas catiónicas y (2) membranas aniónicas. Las catiónicas poseen una carga fija negativa, permitiendo a los cationes (iones positivos) pasar a través de ellas pero repeliendo a los aniones (cargas negativas). Las membranas aniónicas, poseen una carga positiva fija, permitiendo el paso de los aniones (iones negativos) a través de ellas pero repeliendo a los cationes (iones positivos)

El paso de los iones a través de las membranas se acelera por la aplicación de una tensión constante a lo largo de una serie de membranas permeables al catión y al anión. El cátodo y el ánodo se colocan en los extremos de la celda de tal manera que la membrana más próxima al cátodo sea permeable a los aniones. El agua residual cruda se alimenta en los compartimientos de concentración y el agua residual tratada se extrae continuamente de los compartimientos de dilución.

Para un funcionamiento adecuado de la celda de electrodialisis, la materia en suspensión, los iones orgánicos de gran medida y la materia coloidal se han de separar antes del proceso. Si eso no se hace, estos materiales pueden provocar que la membrana se ensucie, lo que conduce a un aumento de la resistencia eléctrica total. Para una tensión constante aplicada, la corriente que pasa a través de la celda disminuye. Por lo tanto, la capacidad desmineralizadora del equipo disminuye también, ya que según la ley de Faraday hay migración de un equivalente-gramo de una especie iónica por amperio por segundo aplicado.

La suciedad de las membranas es el mayor problema a superar con el objetivo de llegar al funcionamiento económico de la electrodialisis en el tratamiento de aguas residuales. La suciedad disminuye mediante:

1. El tratamiento del agua residual cruda con el objetivo de separar la materia en suspensión coloidal y los iones orgánicos de gran medida. Esto se realiza mediante la adición de coagulantes, la filtración a través de microfiltros y /o la adsorción en columnas de carbón activo. El coste de este tratamiento puede hacer que el proceso resulte antieconómico.
2. La suciedad se disminuye mediante la parada periódica de la planta para limpieza.
3. La inversión frecuente de la limpieza tiende a minimizar los efectos de la suciedad.

12.9. Osmosis Inversa

Se coloca una solución diluida de sacarosa (por ejemplo de 0,0001 M) dentro de la bolsa semipermeable, que se sumerge en un depósito conteniendo agua pura.

El agua se difunde espontáneamente desde el depósito al interior de la bolsa semipermeable. En consecuencia, a través del tubo de vidrio conectado a la solución diluida de sacarosa asciende una columna de líquido, llegando al equilibrio una altura p por encima del nivel de agua en el depósito. En este momento se acaba el paso del disolvente. La presión ejercida sobre los puntos A' y A situados al mismo nivel difiere por el aumento correspondiente a la altura n del líquido. Este valor se denomina presión osmótica de solución de sacarosa. La osmosis se define como el paso espontáneo de un disolvente desde una solución diluida a otra más concentrada a través de una membrana semipermeable.

Sea P la presión en el punto A (presión atmosférica más presión correspondiente a una columna de agua de H). La presión en A' es $(P + n)$. La presión osmótica es la función de la concentración de la solución de sacarosa y de la temperatura. La relación matemática de n en función de la concentración de soluto (C) y la temperatura absoluta (T) viene dada por la ecuación de Van't Hoff.

12.9.1. Ecuación de Van't Hoff

La ecuación de Van't Hoff es:

$$\pi = \frac{nRT}{V} = CRT$$

Donde:

- + π es la presión osmótica (atm)
- + n son los moles gramo de soluto (por ejemplo de sacarosa)
- + V es el volumen de la solución de sacarosa (l)
- + c es la concentración de la solución (moles/l)
- + R es la constante ideal de los gases
- + T es la temperatura absoluta (K)

La osmosis es el paso del disolvente a través de la membrana, debido a una desigualdad momentánea del potencial químico sobre los dos lados de la membrana. La presión osmótica es el resultado de este paso del disolvente. Pero la ecuación de Van't Hoff no es un modelo adecuado para definir la presión osmótica a concentraciones elevadas de soluto.

12.9.2. Principio de la osmosis inversa

La osmosis directa es la que el disolvente fluye espontáneamente a través de la membrana semipermeable. En las condiciones de equilibrio la altura del líquido que se ha desarrollado como consecuencia del flujo de disolvente a través de la membrana es igual a la presión osmótica. Cuando se aplica una fuerza F superior al valor de la presión osmótica a la solución sacarosa, el flujo de disolvente para. El flujo de disolvente se invierte cuando la fuerza aplicada a la solución es igual a F (presión osmótica) más la columna de líquido, este fenómeno se denomina osmosis inversa.

En el tratamiento de aguas residuales mediante osmosis inversa, el afluente contaminante se pone en contacto con una membrana adecuada a una presión osmótica de la solución. Bajo estas circunstancias, el agua con una cantidad muy pequeña de contaminantes pasa a través de la membrana. Los contaminantes disueltos se concentran en el compartimiento del agua residual. Este concentrado, que posiblemente sea una pequeña fracción del volumen total de agua residual a tratar, se descarga. Se obtiene agua purificada en el otro compartimiento.

En la práctica, el proceso de osmosis inversa se realiza mediante un sistema de configuración tubular. El agua residual fluye a una presión superior a la osmótica a través de un tubo interior formado por material semipermeable y diseñado para soportar presiones elevadas. El agua purificada se separa en un tubo exterior, que se encuentra a presión atmosférica y está fabricado de material ordinario.

CAPÍTULO 13:

LÍNEA DE FANGOS

Uno de los objetivos finales de una EDAR, a parte de la eliminación de los contaminantes presentes en las aguas residuales, es la estabilización de esos contaminantes, que, porcentualmente hablando, son mayoritariamente sólidos. Conocidos como fangos, en un principio se presentan en estado semisólido, ya que contienen una gran cantidad de agua. Por eso la importancia de la Línea de Fangos en el proceso productivo.

Los fangos de depuración se producen por sedimentación en los decantadores de los distintos procesos de tratamiento.

Las partículas sólidas más gruesas se depositan en el fondo del decantador primario y forman los fangos primarios.

La biomasa bacteriana del fondo del decantador secundario produce los fangos secundarios.

Ambos tipos de fangos se pueden mezclar formando los fangos mixtos. Estos fangos poseen unas características que se definen a continuación:

- Tienen una gran cantidad de agua (95-99%), por lo que ocupan un volumen importante y son de difícil manipulación.
- Tienen gran cantidad de materia orgánica, por lo que entran fácilmente en descomposición (putrefacción), produciendo malos olores.

- Poseen una gran cantidad de organismos patógenos, causantes de enfermedades.

Las características de los fangos son consecuencia del uso que se les haya dado a las aguas. En ocasiones, los fangos pueden presentar altos índices de contaminantes peligrosos, si las aguas provienen de industrias que usan materias primas peligrosas (industrias pesadas).

A estos fangos hay que someterlos a determinados procesos que reducirán su facultad de fermentación y su volumen.

El tratamiento de los fangos depende de su composición y del tipo de agua residual del que proviene.

Las fases más usuales en un proceso de tratamiento y evacuación de fangos son:

- Concentración o espesamiento.
- Digestión.
- Acondicionamiento.
- Secado.
- Incineración y/o Eliminación.

13.1. Estudio de los Fangos

Para poder proyectar unas instalaciones de tratamiento de fangos, primero es conveniente conocer la procedencia, cantidad y características de los sólidos a tratar.

13.1.1. Procedencia

La procedencia de los sólidos producidos en las plantas de tratamiento varía en función del tipo de planta y del método de explotación. La purga del fango desde el conducto de recirculación de fangos, al tanque de sedimentación del fango activado constituye una fuente de fango. Los procesos de digestión, espesamiento, condicionamiento y deshidratación del fango también constituyen fuentes generadoras de fango.

13.1.2. Características

Las características varían en función del origen de los sólidos y del fango, de la edad del fango y de los tipos de procesos a que han estado sometidos.

Muchos de los constituyentes químicos, incluidos nutrientes, son de gran importancia a la hora de considerar la evacuación final del fango tratado y del líquido extraído del fango durante su tratamiento.

Las características de los fangos son de gran importancia si se quiere hacer la incineración de estos (contenido energético), si se quiere reutilizar para abono, o por si se quiere hacer la digestión anaerobia del fango para extraer biogás, ya que se tienen que tener en cuenta la composición en metales pesados, pesticidas, hidrocarburos, alcalinidad, etc.

Los elementos traza, merecen una especial atención, ya que son unos componentes con pequeños metales pesados.

13.1.3. Cantidad

La cantidad de fangos varía ampliamente dependiendo de diversos factores. Por eso, se ha de dimensionar el tratamiento de fangos considerando: (1) tasas medias y punta de producción de fango, y (2) la capacidad de almacenaje potencial de las unidades de tratamiento de la planta.

En los tanques de aireación y de sedimentación se pueden almacenar temporalmente, cantidades limitadas de sólidos. La capacidad de almacenaje se puede utilizar para absorber las puntas de carga de corta duración. En los casos en que no se utilicen digestores, el proceso de tratamiento de fangos, como el bombeo o espesamiento de fangos, pueden tener que ser diseñados basándose en las direcciones de máxima producción diaria. Las cantidades totales de fangos a tratar se determinan mediante una serie de balances de sólidos del proceso de tratamiento.

El volumen del fango depende principalmente del contenido en agua, ya que normalmente el 90% en peso es agua, y sólo el 10% es de fango. Con la siguiente ecuación se puede calcular el peso específico global si la materia está formada por sólidos fijos (minerales) y sólidos volátiles (orgánicos):

$$\frac{W_s}{S_s \cdot \rho_w} = \frac{W_f}{S_f \cdot \rho_w} + \frac{W_v}{S_v \cdot \rho_w}$$

Donde:

- + W_s es el peso de los sólidos.
- + S_s es el peso específico de los sólidos.
- + ρ_w es la densidad del agua.
- + W_f es el peso de los sólidos fijos (materia mineral)
- + S_f es el peso específico de los sólidos fijos.
- + W_v es el peso de los sólidos volátiles.
- + S_v es el peso específico de los sólidos volátiles.

Y para calcular el volumen del fango podemos hacer uso de:

$$V = \frac{W_s}{\rho_w \cdot S_{sl} \cdot P_s}$$

Donde:

- + W_s es el peso de los sólidos secos.
- + S_{sl} es el peso específico del fango.
- + P_s es la fracción de sólidos expresada en tanto por 1.

Pero para realizar un cálculo aproximado, cuando el contenido en sólidos es conocido, sólo hace falta recordar que el volumen es inversamente proporcional al porcentaje de materia sólida contenida en el fango, según la siguiente relación:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{P_2}{P_1}$$

Donde:

- + V_1 y V_2 son los volúmenes de fango.
- + P_1 y P_2 son los porcentajes de materia sólida.

13.2. Captación de Fangos

El fango que se produce en las plantas de tratamiento de aguas residuales se tiene que transportar, para tratarlo, de un punto a otro de la planta, en condiciones variables entre un fango líquido o espuma, hasta un fango espeso. El fango se puede bombear fuera de la planta para su tratamiento especializado en otros centros. Puede

ser necesario utilizar tipos diferentes de bombas para cada tipo de fango.

Las bombas que más se utilizan para el transporte de fangos son las bombas de émbolo, de cavidad progresiva, centrífugas, de vórtice, de diagrama, de pistón a alta presión, y de émbolos rotativos. A parte de estos, también se han utilizado otro tipo de bombas, como las peristálticas, o del tipo de las bombas utilizadas para el bombeo de hormigón.

Para las espumas, las que se suelen utilizar más son las bombas de diagrama, y las centrífugas.

13.3. Pretratamiento de Fangos

Si se quiere conseguir que la llegada del fango a la línea de fangos sea constante y homogénea, a veces hace falta dilacerar, desarenar, mezclar y almacenar el fango.

La dilaceración del fango es un proceso en el que los sólidos de gran medida son cortados triturados en partículas más pequeñas para evitar obturaciones en los equipos rotatorios. Se necesita dilacerar en el bombeo con bombas de cavidad progresiva, centrífugas de camisa maciza, en filtros prensa, en el tratamiento térmico y en el oxidado con cloro.

Si no ha habido un sistema de desarenado antes del decantador primario, o este no funciona bien, es conveniente eliminar las arenas que hay en el fango. La forma más utilizada de extraer la arena del fango es aplicar una fuerza centrífuga para separar la arena del fango orgánico (desarenadores de ciclón)

El fango generado en el tratamiento primario, secundario y avanzado (si se da el caso), tienen características diferentes dependiendo de donde vengan. El fango primario tiene sólidos sedimentables, el fango secundario tiene sólidos biológicos y cantidades adicionales de sólidos sedimentables, y el fango del tratamiento avanzado contiene sólidos biológicos y sólidos de origen químico. Por lo tanto, hace falta mezclar el fango para conseguir que la alimentación a los siguientes procesos de tratamiento sea uniforme. La mezcla de los fangos obtiene mayor importancia en los casos en los que se tenga tiempo de retención cortos. La mezcla de los fangos se puede hacer de diferentes maneras: (1) en tanques de decantación primaria, (2) en cañerías, (3) en instalaciones de tratamiento de fangos que procuren

largos tiempos de retención, y (4) en un tanque de mezcla independiente. Las plantas de capacidad inferior a 3800 m³/d, la mezcla se suele hacer en los decantadores primarios. En las plantas de grandes dimensiones, la eficacia óptima se consigue espesando los fangos en unidades independientes antes de proceder a su mezcla. Para asegurar una mezcla adecuada, los tanques de mezcla suelen estar equipados con mezcladores mecánicos y deflectores.

El almacenamiento de fango tiene una gran importancia en el tratamiento de fangos. Este se tiene que hacer para eliminar las fluctuaciones de la producción de fango y permitir la acumulación de estos durante periodos en los que las plantas en que los tratamientos siguientes estén fuera de servicio (fin de semana, turnos de noche, máquinas inoperativas...). El almacenado de los fangos, es importante en los procesos de estabilización con cal, tratamiento térmico, deshidratación mecánica, secado y reducción térmica, para los cuales es importante asegurar que la alimentación sea de caudal uniforme.

Las plantas pequeñas suelen almacenar los fangos en los decantadores y en los digestores (almacenaje corto), y las plantas grandes suelen hacerlo en tanques de mezcla y almacenaje independiente (almacenaje largo). El almacenaje largo, puede ser de horas o hasta días, pero no es conveniente que el tiempo sea superior a 3 días, porque el fango se podría comenzar a deteriorar, y aumentaría la dificultad del proceso de deshidratación.

13.4. Concentración o Espesamiento

El espesado es un proceso que se utiliza para aumentar el contenido de sólidos del fango por eliminación de partes de la fracción líquida de este. Se puede realizar mediante procedimientos físicos, que incluyen el espesado por flotación, centrifugación y filtros de banda por gravedad.

13.4.1. Aplicación

La reducción del volumen de fango resulta beneficiosa para los procesos de tratamiento subsiguientes como la digestión, deshidratación, secado y combustión, desde los siguientes puntos de vista: (1) capacidad de tanques y equipos necesarios, (2) cantidad de

reactivos químicos necesarios para el condicionamiento del fango, y (3) cantidad de calor necesario para los digestores y cantidad de combustible auxiliar necesario para el secado o incineración, o por ambas.

En grandes proyectos en los que el transporte se tiene que hacer con conducciones grandes y a gran distancia, la reducción del volumen de fangos, puede comportar reducciones de diámetro y económicas de las cañerías, y también reducir costes de bombeo. La reducción del volumen es deseable en los casos en el que se transporta fango líquido en un camión cisterna por su aplicación directa al terreno como acondicionador de suelos.

El espesado del fango se realiza de alguna u otra forma en todas las plantas de tratamiento (decantadores primarios, instalaciones de tratamiento de fangos, o unidades especialmente diseñadas). Si se utilizan las unidades independientes especialmente diseñadas, los caudales de sobrenadantes producidos se suelen retornar a la cabecera de las instalaciones de tratamiento. En pequeñas plantas, el espesado de fangos con unidades independientes no se hace por su elevado coste.

13.4.2. Equipamiento de Espesado

Espesado por gravedad

Se realiza en un tanque similar al utilizado en un tanque de sedimentación convencional (normalmente son de tanques circulares). El fango diluido se conduce a una cámara de alimentación central. El fango alimentado sedimenta y compacta, y el fango espesado se extrae por la parte inferior del tanque. Los mecanismos de recogida de fangos convencionales consisten en dispositivos que remueven el fango lentamente, promueven la abertura de canales para proporcionar salida al agua y favorecen la densificación. El sobrenadante se retorna a la cabecera de la planta. El fango espesado que se recoge al fondo del tanque, se bombea a los digestores o equipos de deshidratación (se hace necesario tener un determinado volumen de almacenaje). A veces, para aumentar el rendimiento del proceso se añade agua de dilución y, ocasionalmente, cloro.

Espesado por flotación

Hay la flotación por aire disuelto, flotación al vacío y flotación por dispersión de aire. En el proceso de espesado por flotación por aire

disuelto, se introduce aire en una solución que se mantiene a una presión determinada. Cuando la solución se despresuriza, el aire disuelto se libera en forma de burbujas finalmente divididas que arrastran el fango hasta la superficie, desde donde es eliminado.

Donde las condiciones climáticas (gebradas), o en el caso de que los malos olores dentro de edificios.

El espesado por flotación obtiene los mayores resultados en los fangos procedentes de procesos de tratamiento de cultivo biológico en suspensión con alto contenido de grasas y aceites. Estos flotan por encima el fango y el agua.

La concentración de sólidos flotantes que se pueden obtener en el proceso de espesado por flotación de fangos activados, depende de la relación aire-sólidos, de las características del fango, de la carga de sólidos y de la aplicación de polímeros.

Espesado de centrifugación

Las centrífugas se utilizan tanto para espesar, como para deshidratar los fangos.

El espesado por centrifugación implica la sedimentación de las partículas de fango bajo la influencia de fuerzas centrífugas. Los dos principales tipos de centrífugas son la centrífuga de camisa maciza y la centrífuga de cesta. La primera consiste en una camisa maciza dispuesta horizontalmente, con un extremo de forma troncocónica. El fango se alimenta a la unidad de forma continua, y los sólidos se concentran en la periferia. Un caracol helicoidal, que gira a una velocidad ligeramente diferente, desplaza el fango acumulado hasta un extremo troncocónico, donde se produce una concentración de sólidos adicional previamente a la descarga del fango.

La centrífuga de cesta trabaja discontinuamente. En esta el fango líquido se introduce en una cesta que gira alrededor de un eje vertical. Los sólidos se acumulan en las paredes de la cesta produciéndose la clasificación del centrado.

Cuando se llega a la capacidad de retención de sólidos de la centrífuga (60-85% de la profundidad máxima de la cesta), se reduce la velocidad de giro, y se introduce un rascador para facilitar las faenas de extracción del fango acumulado. Este tipo de centrifugado resulta indicado para su aplicación con fangos suaves o para sólidos difíciles de filtrar, o en casos en los que la naturaleza del sólido sea muy variable.

El proceso de espesado por centrifugación, se ahorra la adición de polímeros, pero también es cierto que tiene un coste de funcionamiento y mantenimiento muy grande, y sólo resulta rentable para las plantas de capacidad superior a 20000 m³/d, en las que el espacio disponibles es limitado y se dispone de mano de obra cualificada, o en la aplicación de fangos difíciles de espesar mediante otros procesos convencionales.

Espesado por filtros de banda por gravedad

En la deshidratación con filtros de banda, especialmente en el caso de fangos con contenido de sólidos inferiores al 2 por 100, la mayor parte del espesado se produce en la zona del filtro dedicada al drenaje por gravedad. Los equipos desarrollados por el espesado consisten en una banda que se desplaza sobre unos rodillos accionados por un motor a velocidad variable. El fango se condiciona con polímeros, y se conducen a una cámara de distribución/alimentación situada a un extremo de la unidad. Esta cámara se utiliza para distribuir el fango uniformemente en toda la amplitud de la banda móvil, mientras que el agua corre a través de la misma y el fango se conduce hasta el extremo de descarga. Durante el recorrido sobre la banda, una serie de cortantes cortan y forman surcos en el fango, permiten que el agua liberada del fango pase a través de la banda. Una vez eliminado el fango espesado, la banda pasa por un ciclo de lavado. Este tipo se utiliza para el tratamiento de fangos crudos y digeridos y requieren la adición de polímeros.

Espesadores de tambor rotativo

El espesado de fangos también se lleva a cabo mediante tambores rotativos revestidos. El fango se mezcla con un polímero en el tambor de mezcla y condicionamiento, y después, el fango condicionado pasa a una serie de tamices rotativos que separan los sólidos floculados del agua. El fango espesado sale a través de los tamices. En la aplicación a fangos activados, se consiguen espesados del orden del 3 y 4%, con la adición de polímeros. Las ventajas de este tipo de espesadores son el bajo mantenimiento necesario, el bajo consumo energético, y el reducido espacio necesario.

13.4.3. Proyecto de espesadores

En el momento de proyectar las instalaciones para el espesado de fangos, es importante: (1) dotar las instalaciones de capacidad suficiente para hacer frente a las demandas punta, y (2) prevenir el

desarrollo de condiciones sépticas y los problemas de olores, durante el proceso de espesado.

Espesadores de gravedad

Se dimensionan en función de la carga de sólidos. Para mantener las condiciones aerobias en los espesadores de gravedad, se tiene que prever la posibilidad de añadir al espesador un caudal de afluente final de la planta del orden de 24 a 30 m³/m²Sd.

Para mejorar la concentración, se mantiene un mantel de fango en la parte inferior del tanque. La relación de volumen de fango es una variable de funcionamiento de los espesadores que se define como el volumen del mantel mantenido en el interior del espesador, dividido por el volumen de fango espesado extraído diariamente. La relación de volumen de fango suele variar entre 0,5 y 20 d, siendo los valores más bajos los necesarios en épocas calurosas. Como alternativa, se puede medir la profundidad del mantel de fango que puede variar entre 0,6 y 2,4 m, siendo los valores más bajos los correspondientes a épocas más calurosas.

Espesadores por flotación

Admiten mayores cargas que los espesadores por gravedad, ya que separan los sólidos del agua residual con una gran velocidad.

Se recomienda utilizar afluentes de planta o de la decantación primaria como fuente de agua presurizada, con preferencia del tanque de explotación, excepto cuando se añade aditivos químicos a causa de la posibilidad de obturación del sistema de presurizado con los sólidos que contengan el afluente. La utilización de polímeros para mejorar la flotación es efectiva, produciendo incrementos de recuperación de sólidos en el fango flotando del 85 al 98-99 %, y la consecuente reducción de las cargas a cabecera de la planta.

Espesadores centrífugos

El rendimiento de las centrífugas se cuantifica mediante el porcentaje de captura, definido como:

$$\text{Porcentaje de captura} = \left[1 - \frac{C_P(C_C - C_S)}{C_S(C_C - C_P)} \right] \cdot 100$$

Donde:

- + C_P es la concentración de sólidos en el agua resultante del proceso, mg/l, en %.
- + C_C es la concentración de sólidos en el tortón, mg/l, en %.

+ C_s es la concentración de sólidos en el fango alimentado, mg/l, en %.

Por lo tanto, para una concentración de alimentación constante, el porcentaje de captura aumenta al disminuir la concentración de sólidos en el centro. En las operaciones de concentración de fangos, la captura de sólidos es importante en los casos en los que se desea devolver al proceso de tratamiento la mínima cantidad de sólidos posible. Muchas instalaciones se diseñan con sistemas auxiliares de adición de polímero para el caso de que sea necesario aumentar la captura de sólidos.

Las principales variables operativas incluyen: (1) las características del fango alimentado; (2) la velocidad de rotación; (3) la carga hidráulica; (4) la profundidad del líquido a la playa de salida de la camisa; (5) el diferencial de velocidad de caracol de transporte; (6) la necesidad de adición de polímeros para mejorar el rendimiento. Es recomendable hacer ensayos en laboratorios o plantas piloto.

13.5. Digestión

13.5.1. Digestión Aerobia

Es un proceso en el cual se produce una aireación, durante un período largo de tiempo (19-15 días), de una mezcla de fango de la sedimentación primaria y del fango procedente del tratamiento biológico, con el resultado de una destrucción de células (respiración endógena) y una disminución por tanto, del contenido en sólidos volátiles.

Cuanto mayor sea la proporción de fangos del primario, más lenta es la digestión ya que la relación alimento / microorganismos disminuye (alta DBO y bajo M)

Teniendo en cuenta que la digestión aeróbica de los fangos tiene lugar en la fase de respiración endógena, no hay prácticamente disminución de la DBO soluble. El objetivo fundamental de la digestión aeróbica es la reducción de la masa volátil del fango a evacuar, más que la reducción de la DBO soluble.

Respecto a la digestión anaeróbica, este sistema tiene la ventaja de que el tiempo de residencia menor, lo que significa menores inversiones en volumen de construcción, así como la instalación poco

complicada. En cambio, tiene un elevado coste de energía asociado al suministro del oxígeno necesario (0,020 Kwh/m³ de tanque).

El contenido en oxígeno oscila entre 1 y 2 ppm, aunque en dosis superiores se alcanzan rendimientos mayores. Las reducciones típicas de sólidos volátiles varían del 35 al 45 % en verano, aunque en invierno estos valores disminuyen (20-35 %).

13.5.2. Digestión Anaerobia

La digestión anaeróbica es la fermentación en ausencia de oxígeno que estabiliza la materia orgánica transformándola en gas metano y CO₂.

Un primer grupo bacteriano transforma los compuestos orgánicos complejos en otros más sencillos (acético, propiónico, butírico), los cuales sirven de alimento a un segundo grupo, que se llaman bacterias metánicas.

Estas últimas son los organismos claves de la digestión anaeróbica. Se desarrollan muy lentamente y son muy sensibles a las variaciones de temperatura y de pH (6,8 -7,2).

Normalmente el fango se calienta mediante un intercambiador de calor hasta la temperatura de 35°C, temperatura de mayor actividad para las bacterias metánicas.

El gas producido se compone esencialmente de CH₄ (70%) y de CO₂ (25%). Los otros gases se encuentran en una pequeña proporción (CO, N₂, SH₂, O₂). La producción de gas es el criterio más representativo de la calidad de la digestión.

Es importante una agitación intensiva en el digestor, el que multiplica las posibilidades de encontrarse a los microorganismos con la materia a degradar y homogeniza la masa de fangos. Por esto en laboratorios se obtienen mayores rendimientos que a escala real.

El tiempo de residencia tiene que ser muy alto, del orden de 30 días o más, y teniendo en cuenta que únicamente la mitad del volumen del digestor es útil, los digestores anaeróbicos son enormes y tienen un coste de construcción elevadísimo. Por otra parte, se tiene que asegurar que no existen fugas hidráulicas y que existen los mínimos riesgos debido al gas metano. Todo esto hace la explotación de estos digestores delicada y difícil.

Durante el invierno es usual el calentamiento del fango, aunque en verano normalmente no es necesario. Por eso, los costes de explotación son inferiores a la digestión aeróbica. Se consiguen reducciones de volátiles del 40-50 % a pleno rendimiento.

El gas metano producido se quema y en algunos casos se utiliza como productor de energía suplementaria.

13.6. Acondicionamiento

La estabilización del fango se lleva a cabo por (1) reducir la presencia de patógenos; (2) eliminar los olores desagradables; e (3) inhibir, reducir o eliminar, su potencial de putrefacción. El éxito en la consecución de estos objetivos está relacionado con los efectos del proceso u operación de estabilización sobre la fracción orgánica o volátil del fango. Los medios de estabilización disponibles para eliminar el desarrollo de estas condiciones desagradables son: (1) reducción biológica del contenido de materia volátil; (2) oxidación química de la materia volátil; (3) adición de agentes para hacer el fango inadecuado para la supervivencia de los microorganismos; y (4) aplicación de calor con objeto de desinfectar o esterilizar el fango.

Para la estabilización de los fangos por vía biológica (aerobia o anaerobia), es necesario realizar obras de importantes dimensiones. Cuando se tiende preferentemente a reducir costes de primera instalación o bien cuando no se posee otra solución, puede disminuirse notablemente el poder fermentable del fango mediante la adición de agentes químicos.

Esta aportación de reactivos no modifica la cantidad de materias orgánicas biodegradables, sino que realiza esencialmente una acción bactericida. Por su reducido coste, la cal es el reactivo que más se utiliza. La aportación de cal no produce el mismo efecto, según se realice sobre fangos líquidos o sobre fangos deshidratados.

En el caso de líquidos se consigue la elevación del pH y del bloqueo de las fermentaciones nauseabundas. Con esto también se mejora la capacidad de deshidratación del fango. Las dosis utilizadas por fangos frescos son del orden del 10 % de la cantidad de materia seca. Este hecho produce la alcalización de los fangos hasta un pH superior a 11, el que hace disminuir notablemente el contenido de bacterias coliformes y la desaparición de gérmenes patógenos.

El principal problema de este tipo de tratamiento es el desprendimiento de NH_3 , que provoca malos olores.

En el caso de fangos deshidratados, la estabilización (con cal viva) es mucho más duradera, ya que las fermentaciones ácidas se desarrollan con gran dificultad en el fango seco. En cambio, la mezcla cal-fangos es mucho más difícil de conseguir al tratarse de productos sólidos.

13.7. Secado

La deshidratación del fango tiene como objetivos la reducción del volumen de agua hasta conseguir que este pueda manipularse como un semisólido en vez de como un líquido.

El encarecimiento de las tasas de vertido y del transporte de fangos ha hecho que se desarrollen técnicas más sofisticadas y costosas para conseguir una mayor seguridad.

13.7.1. Eras de secado

El secado de fangos sobre eras de secado exige grandes extensiones de terreno y se utiliza especialmente en instalaciones pequeñas.

Por razones lógicas, esta deshidratación natural sólo se tiene que realizar con fangos bien estabilizados y no putrescibles (oxidación total).

Los rendimientos obtenidos son muy variables, y dependen especialmente de la climatología. Puede obtenerse una mejora de su rendimiento mediante un condicionamiento químico (principalmente polielectrolito catiónico), lo que reduce también el tiempo de residencia, que generalmente es de 1 mes.

Las eras de secado están constituidas por una capa de 10 cm de arena de 0,5 a 1,5 mm, dispuesta sobre una capa de soporte de 20 cm de grava de 15 a 25 mm, tal como se indica en la siguiente figura.



Ilustración 10. Distribución de los sustratos en una Era de Secado.

Las capa de fango que se escampa es del orden de 20-30 cm. El agua se elimina mediante el drenaje a través del filtro de arena y grava, y por evaporación, lo que hace que en verano se consigan sequedades de hasta el 30 % con facilidad.

Como se puede comprobar, el tiempo de residencia es un factor determinado en el rendimiento final.

13.7.2. Centrífugas

Su utilización es muy común dado el relativo bajo coste del equipo, su simplicidad y bajo coste de mantenimiento.

Están constituidas por un tambor cilindro-cónico de eje horizontal que gira a gran velocidad, donde su interior un tornillo helicoidal de extracción gira, a la vez, a una velocidad ligeramente diferente. El fango se concentra por fuerza centrífuga contra la pared interior del tambor y es arrastrado por el tornillo helicoidal hasta la salida. El agua sobrante (centrada) cae por gravedad en el extremo opuesto.

Las centrifugas obtienen aceleraciones de 1000 a 3000 veces la gravedad, y necesitan la adición de polielectrolitos catiónicos para un mayor rendimiento. Los valores de sequedad y consumo son habitualmente los siguientes:

Tabla 6. Valores de Sequedad y Consumo Polielectrolito.

| Tratamiento | Sequedad | Consumo polielectrolito |
|---------------|----------|-------------------------|
| Fisicoquímico | 20-30% | 3-4 Kg/TMS |
| Biológico | 15-25% | 6-8 Kg/TMS |

En las depuradoras se pueden utilizar centrifugas sin adición de polielectrolito en substitución de los espesadores por flotación.

13.7.3. Filtros de Banda

Este sistema de filtración se adapta, principalmente a instalaciones pequeñas o medianas. Obtienen sequedades un poco superiores a las centrifugas, pero su coste es superior y su mantenimiento más complejo y delicado.

El fango, condicionado con polielectrolito, se distribuye sobre una tela filtrante y se prensa por un tambor formándose un tortón de fango seco mientras el agua drena por la tela filtrante (banda).

Si bien los consumos de polielectrolitos son un poco inferiores a los de las centrifugas y la sequedad obtenida para un mismo tipo de fango de un 3-5% superior, no compensan su elevado coste y los problemas de mantenimiento (descentrado, rotura, y obstrucción de la banda).

13.7.4. Filtros Prensa

La utilización de filtros está restringida a plantas depuradores grandes debido a su elevado coste. Son también complicados tanto de mantenimiento como de operación, pero tienen la ventaja de duplicar la sequedad del fango (35-50%) con el consiguiente ahorro de explotación.

Necesitan la adición de Ca(OH)_2 como acondicionador (hasta $\text{pH} > 11$) y en ocasiones también de Cl , Fe . No necesitan adición de polielectrolito.

Un filtro prensa se compone de una serie de placas yuxtapuestas de hasta 2 m de lado, incluso un número superior a 100, por lo que se pueden alcanzar "cargas" de hasta 10 TM de fango. Sobre las dos caras acanaladas de estas placas se aplican telas filtrantes. Los fangos a filtrar se cargan en las cámaras creadas entre dos placas contiguas tal como se observa en la siguiente figura:

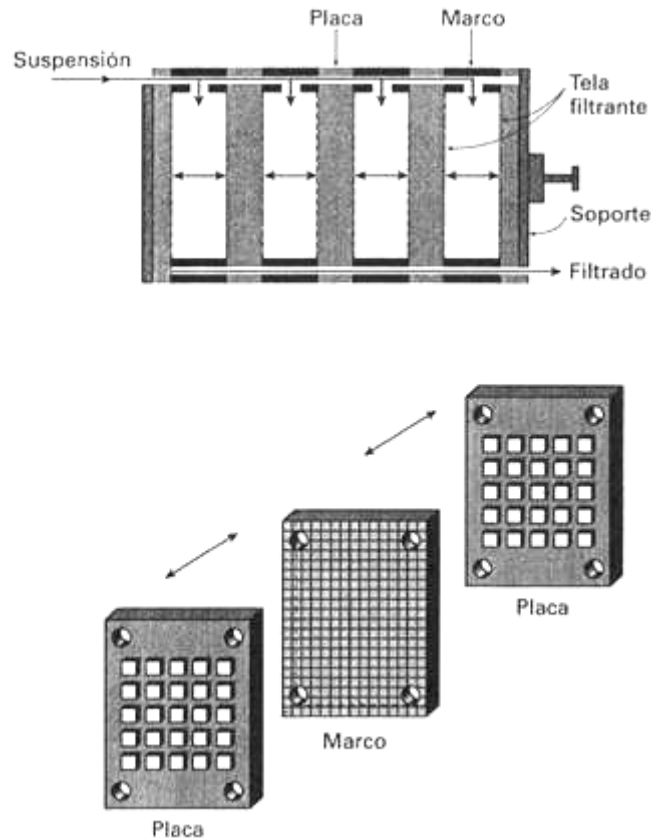


Ilustración 11. Placas de Filtro Prensa.

Posteriormente, se les aplica una presión de 10 a 15 kg/cm^2 que se mantiene durante 1 h, forzando al agua a pasar a través de la tela filtrante. Finalmente, las placas filtrantes se separan cayendo los tortones de fango que tienen un espesor de 3 a 4 cm. La duración total de la filtración es de unas tres horas.

13.8. Reutilización, Incineración, Depósito

El destino final de los fangos tratados y su rentabilización es generalmente problemática y su evacuación consiste siempre en una carga de explotación considerable.

Posiblemente, la incineración sea el paso, aunque más costoso, que en el futuro se tendrá que dar para reducir el volumen de fangos a los límites más pequeños en depuradoras de cierta envergadura. La incineración conduce a un residuo inocuo, a la eliminación total del agua intersticial y a la combustión de la materia orgánica de los fangos. En cambio, de momento se tiene que buscar un destino al vertido de fangos.

13.8.1. Abono de tierras y compostaje

La utilización de fango deshidratado para la agricultura es una perfecta salida en el caso de fangos estabilizados no contaminantes con vertederos industriales. En cambio, las dificultades de manipulación y transporte han hecho que esta forma de evacuación sea poco utilizada debido a la falta de demanda.

Por esto, está comenzando a desarrollarse en este país la técnica del compostaje, que consiste en la adición de fangos procedentes de aguas residuales urbanas a basuras domésticas, con un enriquecimiento en materias húmicas. La relación C/N de la mezcla, del orden de 25 a 30, se adapta bien a la fermentación aeróbica termófila. El compostaje facilita la posterior asimilación por parte del suelo, y reduce notablemente el contenido de gérmenes patógenos. Por otra parte, el producto final es mucho más presentable.

También se puede utilizar el compostaje directo de los fangos, después de la adición de un material rico en carbono (serrín, paja, etc.) lo que tiene la ventaja de que no producen malos olores tan desagradables en la fermentación.

13.8.2. Incineración

En muchas plantas se usa la incineración de fangos para la generación de electricidad para alimentar a la central en sus necesidades energéticas.

13.8.3. Descarga en vertedero

La descarga a un vertido terrestre es el destino más frecuente de los fangos. La escasez de estos hace que cada día el coste de vertido aumente, por lo que se necesitan métodos de deshidratación más sofisticados para reducir el volumen de fangos al máximo.

CAPÍTULO 14:

LÍNEA DE

PRODUCCIÓN

ELEGIDA

14.1. Pretratamiento

Antes de la entrada del agua al pozo de bombas, se dimensiona un pozo de gruesos y desbaste de gruesos, con 5 rejas, para evitar que se deterioren las bombas por algún sólido demasiado grande y para evitar obstrucciones. El pozo de bombas tendrá un volumen de 6000 m³ con un tiempo de retención de, entorno a, 10-14 minutos, calculado para el caudal punta (26.019 m³/h). Este tiene la finalidad de retener los materiales más grandes por sedimentación extrayéndolos mediante una cuchara bivalva.

Después del pozo de gruesos están las rejas de desbaste de medios. En este punto el caudal se divide en cuatro canales provistos de una reja de desbaste fino cada uno y un quinto canal con una reja también para la evacuación a los tanques tormenta del agua sobrante.

Cada reja será de 1 metro de anchura por 1 metro de altura. Los residuos extraídos por las rejillas se llevan a una prensa de residuos de pistón hidráulico para compactarlos y deshidratarlos. Estos residuos se colocan en contenedores que son recogidos por camiones y transportados a vertederos.

Entre el desbaste medio y fino se colocará un aliviadero-bypass, para que cuando este supere el caudal admisible, en su parte inferior, se abran las compuertas del bypass haciendo pasar el agua en exceso, porque si no se producirían inundaciones en la planta depuradora. Este aliviadero conducirá a los tanques tormenta que tendrán un volumen de 3.600 m^3 cada uno, para un tiempo de retención variable, ya que dependerá de los tanques que se utilicen, ya que de los 14 decantadores primarios se pueden elegir entre uno o varios para actuar como tanques tormenta.

A continuación, los cinco caudales, tras pasar por las rejillas de finos tendrán colocados cinco tamices de caudal de más de $8000 \text{ m}^3/\text{h}$ cada uno. La dilaceración no se tendrá en cuenta en este proceso porque los beneficios no son los esperados y su mantenimiento es bastante elevado si lo comparamos con el rendimiento obtenido.

Los residuos obtenidos, se compactarán en una prensa del mismo tipo que la utilizada en el desbaste de gruesos, serán recogidos en camiones y llevados a un vertedero.

Manteniendo los cuatro canales (el quinto será sólo usado como bypass), se ha de hacer un tratamiento para extraer arenas y grasas, por este motivo se ha elegido un desarenador-desengrasador conjunto, de esta forma se optimiza el coste y el espacio. En los cuatro canales, se colocarán ocho desarenadores-desengrasadores de volumen 160 m^3 cada uno para un tiempo de retención de 10 minutos y para un caudal de entrada de $5600 \text{ m}^3/\text{h}$. El quinto canal estará libre por si hubiera un mal funcionamiento de los otros y también tendrá una función de bypass, como ya se ha dicho. Para extraer las grasas se utilizarán unas rasquetas de superficie de madera. Para retirar y deshidratar las arenas sedimentadas se utilizará un clasificador de arenas que tendrá una capacidad máxima de $12 \text{ m}^3/\text{h}$.

14.2. Tratamiento Primario

Tras el desarenado-desengrasado los 8 canales resultantes se reunifican en uno sólo para conducir a las aguas hacia la decantación primaria.

El canal tendrá una anchura de un metro con una profundidad de 0,5 m y una longitud aproximada de 320 m. A lo largo de este recorrido habrán dispuestos 16 agitadores mecánicos con el objetivo de evitar depósitos en el canal de reparto, ya que la velocidad buscada, en este canal, será pequeña para una entrada, en flujo laminar, a los decantadores.

Los decantadores serán rectangulares con un sistema longitudinal de rasquetas de fangos con salida a la cabeza del tanque. Este puente también recogerá posibles flotantes empujados por un sistema de inyección de aire y que serán recogidos por absorción.

El agua entrará por rampa, al decantador, a una velocidad de no más de 1 m/s, para garantizar el régimen laminar y una correcta decantación. Las aguas clarificadas saldrán por el extremo opuesto a la entrada, mediante rebose y serán bombeadas a los reactores secundarios.

Por último, decir que, se dispondrá de 14 decantadores primarios, algunos de los cuales serán usados como tanque tormenta, ya que no todos operaran al mismo tiempo. Estos tanques tendrán una capacidad de 3600 m³ siendo sus medidas 60x20x3 m.

Los fangos extraídos por purgas serán conducidos a la línea de fangos, en donde se les realizará un concentrado por flotación antes de ser mezclados con los fangos del tratamiento secundario.

14.3. Tratamiento Secundario o Biológico

Siendo los dos reactores más utilizados los de flujo en pistón y mezcla completa, se ha decidido que el sistema empleado para el tratamiento secundario para el diseño de la EDAR en cuestión esté formado por reactores de mezcla completa y decantadores secundarios rectangulares con recirculación al principio del reactor biológico.

Se toma esta decisión porque el reactor de mezcla completa está más preparado para admitir cambios de carga contaminante bruscos, puesto que tiene un mejor reparto del agua de entrada.

Esta elección es la idónea, ya que, al tratar aguas industriales, aunque sea de industrias ligeras, se puede dar un caudal punta altamente contaminado y este sistema nos protege, en cierta manera de este supuesto.

Por lo tanto, este posible riesgo está controlado y se puede tener en cuenta a la hora de diseñar el reactor en función de la carga másica y la concentración de microorganismos depuradores. La solución pasa por considerar que en caso de producirse tal aumento, los microorganismos presentes en la balsa estén preparados para asumir una gran demanda de Oxígeno, todo manteniendo niveles bajos de carga másica para así no superar los límites en el peor de los casos.

Serán 18 reactores biológicos los que regeneren las aguas, con un volumen unitario de 3600 m^3 ($60 \times 15 \times 4 \text{ m}$) Admitirán un caudal máximo de 222 l/s.

En cuanto al sistema de aireación, se realizará por suministro de aire por soplantes, situados al fondo del tanque.

Se adoptan difusores mecánicos de membrana porque estos admiten mejor trabajar con aireación discontinua. Esta manera de aportar oxígeno es beneficiosa para el coste de explotación, puesto que reduce el consumo y sólo lo aporta cuando los indicadores de O_2 disuelto repartido por lugares estratégicos del reactor así lo indiquen.

El hecho de utilizar difusores de membrana permite que, en el momento en que no esté saliendo aire por los difusores, el agua contenida en el reactor no entre al interior de las cañerías. La lamina de neopreno, impermeable y flexible, tapa la boca de la cañería como una ventosa cuando disminuya sobre sí la presión hidrostática del agua en reposo, cosa que no pasa con el otro tipo de difusor de mayor uso, el de cerámica.

Con respecto al decantador secundario, el hecho de escogerlo de forma rectangular obedece a qué a los circulares ocupan mucho espacio y requieren de más tiempo de retención para la deposición.

Parte de los fangos extraídos serán recirculados a los reactores biológicos para que sigan desempeñando su labor de oxidación de la materia orgánica. El resto serán llevados a la línea de fangos para su concentración por flotación antes de ser mezclados con los fangos primarios.

14.4. Tratamiento Terciario

El tratamiento terciario está pensado por si no se puede conseguir el nivel de calidad exigido, para el vertido del agua residual, y como este es un proyecto sobre una planta ya existente, en un principio no tienen que haber problemas para llegar a la calidad requerida para su vertido, porque tanto el pretratamiento, el tratamiento primario y el secundario están diseñados para llegar a este grado de depuración exigido por la ley.

Por otra parte, interesa suministrar agua para regar los municipios que rodean la EDAR y a la propia EDAR, por lo tanto, para conseguir los niveles de desinfección exigidos, se plantea un sistema de radiación ultravioleta, que asegura una reducción importante de los organismos problema. El problema radica en que el agua que tiene que llegar a las lámparas ultravioletas, tiene que tener una concentración de materia en suspensión de 5 mg/l o inferior, y un grado de turbidez de 2 NTU o menos. El agua que sale del tratamiento secundario, sale con una concentración más alta que 5 mg/l, y una turbidez también más alta que la nombrada, se plantea un sistema de filtración en medio granular único.

Esta filtración, será en medio granular de arena (sylex), se hará en discontinuo y con un sistema de lavado a contracorriente en dos etapas formadas por aire y agua. Se dispondrán de 7 filtros (6 más 1 de reserva mientras se hace el lavado a contracorriente) para un caudal de 360 m³/h con una velocidad de filtración de 23 m³/m²Sh. Cada filtro tiene dos capas de arena: la primera de diámetro de grano 1-2mm y 4.687 kg de peso, y la segunda de diámetro de grano de 0,4-0,8mm i 1.250kg de peso.

Después, y como ya hemos apuntado, el método utilizado para realizar la desinfección es el de la radiación ultravioleta, el cual consigue una reducción muy importante de organismos sin añadir ningún compuesto químico al agua.

Los equipos de ultravioletas constan de 14 lámparas de media presión de 3,5 KW cada una para tratar 360 m³/h de agua. Este equipo también está preparado por admitir hasta 1.800 m³/h pero no recibirían la misma dosis que recibirán los 360 m³/h. Las lámparas de media presión emiten un amplio espectro de radiación U.V. que va desde 220 a 280 nm. Esto quiere decir que además de la radiación de 253,7 nm, la media presión produce una alta intensidad de radiación a 265 nm y según Meulemans la radiación a esta longitud de onda es la que tiene un efecto germicida más alto. Este equipo emite una

dosis de U.V. de 50 mJ/cm^2 al final de la vida de las lámparas, lo que asegura una reducción de log 5. El que significa que de los 200.000 – 5.000.000 ufc/100 ml que entran al equipo, saldrán menos de 50 ufc/100 ml, y esta concentración ya está por debajo de los niveles requeridos por las leyes para regar un campo de golf, por ejemplo, en este caso.

Los ultravioletas tienen una segunda desventaja, que es que la desinfección no dura tanto como el cloro, puesto que se puede dar el caso que al cabo de unas horas, los coliformes fecales se hayan vuelto a reproducir aumentando el número de 50 ufc/100 ml antes conseguido. Para conseguir que este hecho no pase, seguidamente de la radiación de rayos ultravioletas, se añade 1 mg/l de cloro total en forma de hipoclorito sódico, para asegurar que la desinfección continúe hasta llegar a los municipios para regar. Es muy probable que con esta adición no se llegue al breakpoint, y no se forme cloro residual libre y combinado, pero se forma monocloraamina, que también es un agente desinfectante que evitará el crecimiento biológico en la red de conducción. La monocloraamina se forma por la reacción que tiene el cloro con el amoníaco presente en el agua residual. La adición del cloro al agua se realizará con hipoclorito sódico y con una bomba dosificadora con una capacidad máxima de 11 l/h de hipoclorito sódico. También sería factible utilizar hipoclorito cálcico $[\text{Ca}(\text{OCl})_2]$, puesto que tienen las mismas características, pero como el hipoclorito sódico es el más utilizado de los dos, es más barato.

La utilización de ultravioletas obtiene las siguientes ventajas: (1) hay un ahorro de construcción del reactor para hacer el contacto entre el cloro y el agua; (2) hay un ahorro muy importante de cloro, puesto que mientras que la utilización cloro solo necesita 20 mg/l para un tiempo de contacto determinado, y con la utilización de U.V. sólo se necesita 1 mg/l; (3) se añade mucho menos cloro que si se utilizara sólo cloración, se reduce mucho la posibilidad de formación de compuestos organoclorados, muy peligrosos para las formas de vida superiores.

También sería factible la utilización del dióxido de cloro (gas) por su característica de no reaccionar con los compuestos de nitrógeno, que conseguiría una reducción de la cantidad de cloro a añadir al agua desinfectada para mantener la desinfección durante el recorrido, puesto que se llegaría al breakpoint antes de que si reaccionara con el nitrógeno. Pero por otra parte se recomienda la utilización del hipoclorito sódico porque es más fácil de manejar (líquido), no es tan inflamable ni explosivo como el dióxido de cloro y es más económico que este. Una decoloración no tiene sentido hacerla porque con la cantidad de cloro que se añade tras los ultravioletas, no hay ninguna

razón para temer la formación excesiva de compuestos tóxicos para las formas de vida superiores.

14.5. Vertido al Rio Galindo y Ballonti

El vertido de las aguas provenientes del tratamiento secundario se realizará mediante dos obras de salida a dos ríos diferentes, aunque el Galindo sea afluente del Ballonti, esto es así para evitar el incremento, antinatural, de los cauces del río, aunque para evitar posibles inundaciones, estos, están encauzados y drenados para una mayor capacidad en tiempos de grandes precipitaciones. El Ballonti desemboca en pocos metros en la Ria del Nervión, que a su vez va a parar en un par de kilómetros al Mar Cantábrico en la desembocadura de la bahía del Abra (Puerto de Bilbao)

14.6. Línea de Fangos

Se ha decidido proyectar una línea de fangos consistente en:

- Espesado de fangos por flotación

Se proyectan 3 espesadores por flotación de 15 m de diámetro que nos proporcionarán un fango proveniente de purgas de 5% de concentración.

Se ha preferido este tipo porque están especialmente diseñados para fangos con alto contenido de aceites y grasas, factor que se prevé que sea de importancia en el presente proyecto.

- Deshidratación de fangos por centrifugación

Se prevé la compra de 4 unidades de bombas centrífugas (3 + 1 de reserva) de 100m³/h cada una que nos aseguran una sequedad de fango de más de un 20%.

- Deshidratación por Filtros Prensa

Se usan 5 tiras de filtros prensa para acabar de desecar el fango y dejarlo con un índice de humedad del 2-4%

La deshidratación de fangos comporta un riesgo laboral elevado al haber de operar en ellas con protección contra la alta concentración de gases emanados (principalmente sulfhídrico y metano). Por eso es por lo que se prefiere sacrificar coste inicial y rendimiento al coste de mantenimiento y riesgo laboral.

Por último, se opta por incinerar los fangos en dos hornos de cogeneración sobre lecho de arena para poder obtener energía de la revalorización de los fangos y así ser autosuficientes energéticamente hablando.

Las cenizas serán usadas como material de relleno en obras o jardinería, ya que, éstas, serán inertes.

CAPÍTULO 15:

CONTROL E

INSTRUMENTACIÓN

La estación depuradora consta de una serie de automatismos que permiten el control más eficaz de la planta, de forma que se consiguen rendimientos de funcionamiento mayores. Todos estos automatismos se conectan a un ordenador central desde el cual, en todo momento, se podrá supervisar el funcionamiento de la planta depuradora.

Los automatismos proyectados que se utilizarán son:

- Medidor de amoníaco, nitratos y fosfatos
- Medidor de pH
- Medidor de caudal
- Medidor de nivel
- Medidor de oxígeno disuelto
- Medidor de sólidos en suspensión
- Medidor de DBO
- Medidor de nivel de fangos

15.1. Medidor de Nutrientes

Este aparato permite determinar el contenido de amoníaco, nitratos y fosfatos en el agua residual. Se ha instalado un medidor de la marca Matelco S.A. denominado "Swan Nitrates". Este aparato se basa en el potencial redox de materiales disueltos en el agua. Este potencial se mide con un metal noble y un electrodo de referencia y se mide su potencial electrónico de equilibrio y su capacidad relativa para reaccionar con otras materias oxidantes o reductoras que se puedan añadir al agua.

15.2. Medidor de pH

El método más exacto consiste en un electrodo de vidrio. Los electrodos de vidrio consisten en un tubo de vidrio cerrado en su parte inferior con una membrana de vidrio especialmente sensible a los iones hidrógeno del pH. En la parte interna de esta membrana se encuentra una solución de cloruro tampón de pH 7 constante dentro de la cual está inmerso un hilo de plata recubierto de cloruro de plata.

Se instalara un pH-metro en las rejillas de desbaste y en el efluente final del agua tratada, también se controlara el pH en las operaciones biológicas con presencia de fangos (decantador secundario, espesamiento de fangos...).

Los pH-metros elegidos para el presente proyecto pertenecen a la marca MATELCO S.A y se denominan "pH Zulling pHBL-25"

15.3. Medidor de Caudal

La medida del caudal se realiza mediante un caudalímetro por ultrasonidos. Este aparato mide el caudal por diferencia de velocidades del sonido al propagarse este en el sentido del flujo y en el sentido contrario. Los sensores están situados en una cañería de la que se conocen el área y el perfil de velocidades.

El caudalímetro mide la diferencia de tiempo de propagación de una onda acústica impulsional emitida alternativamente por cada una de las sondas. Esta diferencia se denomina "Diferencia de Tiempo de Tránsito". Este tiempo de tránsito se mide por medio de una lógica adecuada, controlada por el microprocesador.

La lógica operativa de los cálculos realizados por el microprocesador permite eliminar la influencia que podría tener en las medidas la diferencia de velocidades de propagación del sonido a través del fluido, sea cual sea el factor perturbador.

Se instalará un caudalímetro en las rejillas de desbaste para controlar mediante válvulas que el caudal de entrada a la planta sea el adecuado y en el efluente del agua tratada.

Los caudalímetros elegidos para el presente proyecto corresponden a los comercializados por la empresa MATELCO S.A. denominados "Zullig HT68".

15.4. Medidor de Nivel

Medidor de nivel por ultrasonidos. Este tipo de medidor se basa en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo en un receptor. El retraso en la captación del eco depende del nivel del tanque. Los sensores trabajan en una frecuencia de unos 20kHz. Estas ondas atraviesan con cierta reflexión el medio ambiente de gases o vapores y se refleja en la superficie del líquido. Se instalará un medidor de nivel por ultrasonidos de la empresa MATELCO S.A. denominado "Liquiflex PLC".

15.5. Medidor de Oxígeno Disuelto

El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno libre en el agua que no se encuentra combinado ni con hidrógeno ni con los sólidos existentes en el agua.

La determinación del oxígeno disuelto es importante en el tratamiento de aguas y en el control de la aireación. El sensor de oxígeno disuelto es una célula polarográfica consistente en un cátodo de aleación oro-plata-platino y ánodo de plata-cloruro de plata

sumergidos en un electrolito de solución de potasa y cloruro potásico en agua. Una fina membrana de teflón permeable a los gases permite la difusión del oxígeno procedente de la muestra de agua.

Se producen las siguientes reacciones:

En el cátodo: $O_2 + H_2O + 4e^- \rightarrow OH^-$

En el ánodo: $4 Ag + 4 ClK \rightarrow 4 Cl Ag + 4 K^+ + 4e^-$

Reacción total: $O_2 + 2 H_2O + 4 Ag + 4 ClK \rightarrow 4 Cl Ag + 4 KOH$

Como por cada molécula de oxígeno que se reduce entran cuatro electrones en la célula y cuatro abandonan el ánodo, se obtiene una corriente eléctrica de cátodo ánodo que es directamente proporcional a la cantidad de oxígeno que pasa a través de la membrana. La tensión óptima entre ánodo y cátodo que permite seleccionar el componente oxígeno libre en el agua es de 0.8 Vc.c. La temperatura influye sobre el oxígeno disuelto, por esto es necesario incorporar al circuito termocompresor que acromáticamente regulen la temperatura estándar.

Se instalará un medidor de oxígeno disuelto en agua en las rejillas de desbaste, en los decantadores, en el efluente final y en el reactor biológico.

Se instalará un medidor de oxígeno disuelto de la empresa MATELCO S.A. denominado "Sonda de medición de oxígeno disuelto Züllig S14"

15.6. Medidor de Sólidos en Suspensión

La luz infrarroja emitida por dos fuentes es atenuada por las partículas, y después recibida por cuatro detectores diferentes. El método de evaluación utilizado, ofrece la compensación de la luz ambiente, pequeñas turbulencias, temperatura y envejecimiento de la electrónica.

Este principio de medida así como su tratamiento matemático específico de todas las medidas individuales de las diferentes células ópticas aseguran una precisión máxima. El aparato se utiliza para realizar medidas en aguas residuales, tratamiento de fangos activados. También puede ser utilizado en cañerías y en tanques. Se ha instalado un medidor de sólidos en suspensión de la empresa Matelco S.A. denominado "Sonda de medición de turbidez y sólidos en suspensión Züllig COSMOS® -25".

Se ha instalado un medidor de sólidos en suspensión en el decantador secundario ya que las aguas procedentes de este no pueden tener unos valores de sólidos en suspensión mayores a 35mg/l.

15.7. Medidor de DBO

Para realizar la medida de la demanda bioquímica de oxígeno se utiliza un aparato de la empresa MATELCO S.A. denominado "BioMonitor".

El diseño patentado del BioMonitor funciona exactamente como una planta de tratamiento de aguas residuales en miniatura. El fango activado, tanto si procede directamente de la planta como si es reciclado por el analizador, degrada biológicamente las sustancias orgánicas del agua y la demanda de oxígeno de esta biodegradación se mide y se muestra en el display.

15.8. Medidor del nivel de Fangos

Se ha instalado una unidad "CCS-4000" de la empresa MATELCO S.A. El equipo CCs-4000 está compuesto de un sensor ultrasónico y de un amplificador con un algoritmo especial de cálculo, para una fácil detección de la interfase del fango con el agua, eliminando señales, dando el verdadero nivel. Se utiliza para la detección del nivel del fango en clarificadores o decantadores de las depuradoras de aguas residuales.

Se instalará en el decantador secundario.

15.9. Sistema de detección de Gases

Se instalará un sistema de detección de gases para detectar posibles fugas de metano al tratarse de un gas altamente combustible. El medidor de gases corresponde al denominado "Compur Ex plus" que es comercializado por la empresa MATELCO S.A. Este dispositivo mide continuamente la concentración de gases combustibles y sus vapores.

El medidor cuenta con una alarma visual además de sonora. El medidor se basa en la combustión catalítica, habiendo calibrado previamente el sensor para el gas a medir, los valores son mostrados en un display.

CAPÍTULO 16:

CONTROL DE

OLORES

En las plantas de tratamiento de aguas residuales de tipo urbano, las principales causas de olores tienen su origen en: agua residual séptica que contiene sulfuro de hidrógeno y otros compuestos olorosos, residuos de desbaste y arenas sin lavar, instalaciones de manipulación de fangos de fosos sépticos, espumas en los tanques de sedimentación primaria, procesos de tratamiento biológico sobrecargado, espesador de fango, operaciones de quemado de gas residual (cuando se utilizan temperaturas inferiores a la óptima), instalaciones de acondicionamiento y de deshidratación de fangos, incineradoras de fangos, y fangos digeridos en aras de secado o en tanques de almacenado.

16.1. Problemática del control de olores

Un buen mantenimiento y adecuación de las instalaciones y operaciones, son factores claves para que los olores en las estaciones de aguas residuales no sean un grave problema. Se deberá tener una especial atención a detalles de proyecto como la adopción de vertederos, o entradas de aguas sumergidas, también con respecto a

la combustión de gases a su correcta temperatura.... Aún así, a veces aparecerán olores aunque se tenga un buen funcionamiento de la depuradora.

Cuando esto pase, hará falta realizar medidas inmediatas añadiendo al tratamiento productos químicos para contrarrestar los efectos negativos de los olores (cloro, peróxido de hidrógeno, cal u ozono).

Si la estación depuradora se encuentra en poblaciones, es posible que sea conveniente el cubrimiento de alguno de los procesos de esta, como las obras de entrada, los decantadores primarios y los espesadores de fangos. Si se recubren las instalaciones, se deberá tener atención a los gases desprendidos para extraerlos y si fuera necesario tratarlos. Cuando aparezcan olores, estos serán tratados dependiendo del tipo y características de estos, y allá dónde se produzcan. Una forma de protección de las zonas urbanas, es la implantación de unas distancias de disipación de olores, en este caso se debería hacer el estudio del tipo de población, las condiciones meteorológicas y del tipo y medida de la fuente de los olores.

En los casos en que los olores aparezcan de forma crónica, las posibles líneas de actuación para la resolución de estos problemas pueden incluir: cambios operacionales en el proceso de tratamiento o mejora del nivel de tratamiento para eliminar las fuentes de olores, el control del agua residual vertida a la red de saneamiento y a la planta de tratamiento que pueda ser causa de los malos olores, y un control químico de la fase líquida (agua residual).

16.2. Cambios operacionales

Los cambios operacionales que se pueden llevar a cabo incluyen: reducción de sobrecargas a los procesos, aumento del nivel de aireación en los procesos de tratamiento biológico, aumento de la capacidad de la planta poniendo en funcionamiento las instalaciones de reserva, en el caso de que existan, la reducción de la masa de fangos existentes en la planta, aumento de la frecuencia de bombeo de fangos y espumas, adición de agua de dilución clorada a los espesadores de fangos, reducción de las turbulencias generadas por caída libre del agua mediante el control de los niveles del agua, control de liberación de aerosoles, aumento de la frecuencia de la limpieza de las acumulaciones de compuestos olorosos.

16.3. Control de los vertidos a la red

El control de los vertidos a la red de saneamiento (alcantarillado) se puede llevar a cabo: adoptando normativas de vertido de residuo más restrictivas y reforzando la obligatoriedad de su cumplimiento y exigiendo la regulación de los caudales en las fuentes de origen.

16.4. Control de olores en la fase líquida

El control de emisiones de olores en la fase líquida se puede llevar a cabo: manteniendo las condiciones aerobias aumentando el nivel de aireación añadiendo oxígeno, mejorando la mezcla, o añadiendo peróxido de hidrógeno o aire en conductos de impulsión de gran longitud, controlando el crecimiento microbiano anaerobio por desinfección o por control del pH, oxidando los compuestos olorosos mediante la adición de productos químicos, y controlando la turbulencia.

16.5. Control de gases olorosos

Los principales métodos existentes para el control de los gases olorosos se pueden clasificar en físicos, biológicos y químicos.

El proyecto de los procesos de desodorización por lavado químico se ha mejorado con la finalidad de aumentar la eficacia de la eliminación de olores y para reducir los niveles de olor finales. Los sistemas de lavado húmedo incluyen las torres de circulación a contracorriente, cuartos de absorción por chubasco con agua y el lavado de flujo transversal. El objetivo básico de cada tipología es promover el contacto entre el aire, el agua y los productos químicos, para provocar la oxidación o el arrastre de los compuestos olorosos. El lavado por oxidación con líquidos se puede realizar con disoluciones de cloro (hipoclorito de sodio) y de permanganato potásico. En sistemas en los que la concentración de sulfuro de hidrógeno es alta también se utiliza hidróxido de sodio. El lavado con hipocloritos acostumbra a eliminar los gases olorosos oxidables cuando las concentraciones de otros gases son mínimas. En los casos en que las concentraciones de gases olorosos continúen siendo demasiados

elevadas tras el lavado, se pueden instalar unidades de desodorización de varias etapas. Los pasos a seguir a la hora de proyectar un sistema de desodorización por lavado húmedo incluyen: determinación de los volúmenes y características del gas a tratar, definición de los límites de emisión por los gases tratados, elección del líquido de lavado en función de la natura química y de la concentración de los compuestos olorosos a eliminar, y el desarrollo de estudios a escala de planta piloto y determinación de los criterios de diseño y de funcionamiento.

La adsorción sobre carbón activo se utiliza muy raramente en el control de olores. El carbón activo presenta diferentes niveles de adsorción por diferentes sustancias. Puede resultar efectivo para la eliminación del sulfuro de hidrógeno, y se puede utilizar para la reducción de olor de origen orgánico. También se ha podido comprobar que la eliminación de olores depende de la concentración de hidrocarburos en el gas a tratar. Parece que los hidrocarburos se absorben antes de que se elimine el H_2S . Si se desea utilizar carbón activo, es necesario conocer la composición de los gases olorosos a tratar. Para poder eliminar los olores de forma continua, el carbón se debe sustituir o regenerar periódicamente, puesto que la vida del lecho de carbón activo es limitada.

En ocasiones, se utilizan sistemas de doble etapa, en los que la primera etapa es un proceso de lavado químico y la segunda es un tratamiento con carbón activo.

Un método de control biológico de olores es el uso de un filtro de suelo o de compuesto. En este sistema, las superficies de contacto necesarias para que se lleven a cabo las reacciones microbiológicas de oxidación de los compuestos olorosos se consiguen en un medio sólido húmedo del suelo o de fango compuesto. De cara a la actividad de los microorganismos, la humedad y la temperatura son condiciones ambientales de gran importancia. En estos sistemas, el tiempo de residencia del aire contaminado suele ser de 15 a 30 segundos o superior. Para una concentración de H_2S de 20 mg/l, se han utilizado profundidades de lecho de hasta 3 m, con factores de carga de lecho de hasta $0,61 \text{ m}^3/\text{minSm}^2$ de superficie del lecho.

El método específico a utilizar variará en función de las condiciones particulares de cada caso. Pero dado que las medidas para el control de olores tienden a ser caras, en todos los casos se habrá de evaluar el coste de los cambios en los procesos o de las modificaciones en las instalaciones para eliminar el desarrollo de olores, y llevar a cabo una comparación con el coste de la implantación de las diversas medidas alternativas de control de olores antes de proceder a adoptarlas.

16.6. Decisión sobre el control de olores

En el diseño inicial, teniendo en cuenta la distancia que hay entre la depuradora y el núcleo urbano de los municipios de Baracaldo y Sestao, no se diseñara ningún sistema para la disminución de olores.

Los sistemas utilizados para la aireación y agitación de la materia orgánica tienen un diseño óptimo que aseguran la práctica inexistencia de olores esto es debido a que las agitaciones se hacen en un régimen laminar y las aireaciones se realizan con micro burbujas desde la parte inferior de los tanques, cosa que nos permite mayor tiempo de contacto y menor desprendimiento de olores.

CAPÍTULO 17: INSPECCIÓN Y SEGURIDAD

La operación de una planta de agua residual consiste en el chequeo del sistema mecánico y físico y de una monitorización química y biológica del proceso. Por supuesto siempre tiene que haber un segundo operador que pueda operar la planta cuando el primer operador no esté. Es importante llegar a acuerdos de quién es responsable de cada cosa.

La labor de este operador es:

- En todo momento saber qué está ocurriendo en la planta.
- Determinar cuándo y qué cambios están ocurriendo en la planta.

17.1. Refrigeración / Calefacción

Si la temperatura baja más de cero en la localización del reactor se deberán de tomar unas medidas preventivas, contra el hielo en caso de una larga parada.

Para prevenir problemas de congelación durante la parada o un periodo de frío extremo se aconseja drenar regularmente las líneas por donde el agua no corre o el agua pueda condensarse.

17.2. Revisión mecánico-física

Chequeando aspectos mecánicos y físicos se consigue el control de los equipos, como las bombas, agitadores y chequear los niveles de líquido y gas, niveles de los tanques de almacenamiento, temperaturas, pH...

17.3. Rutina diaria

- Chequear si el proceso de pretratamiento lleva un trabajo normal, registrar fenómenos inusuales.
- Chequear el funcionamiento de todas las bombas.
- Chequear los niveles químicos que se suman al proceso y llenar si fuera necesario.
- Chequear si existe alguna situación de alarma y, encontrar y solucionar la causa.
- Recoger muestras para análisis de valores medios y muestras de ajuste para todos los análisis.
- Comparar el pH de campo con un pH metro calibrado diariamente en el laboratorio. Chequear el funcionamiento del gasómetro y la antorcha.
- Inspeccionar la parte alta del reactor fuga de sólidos y escapes de gas. Asegurarse que las tapas estén en su sitio y minimizar el escape de gases malolientes al exterior.

17.4. Rutina semanal

- Limpiar y calibrar el pH.

- Comparar los lectores de temperatura con los equipos con termómetros de mercurio.
- Chequear el funcionamiento del arranque de bombas y compresores.

17.5. Rutina Mensual

- Lubricar los equipos (consultar los manuales de los suministradores).
- Chequear el nivel de fango en el reactor tomando muestras a diferentes alturas del reactor.

Nota: Leer todas las instrucciones para mantenimiento de aparatos e instrumentos. Después de los chequeos mencionados, todo el mantenimiento debe estar descrito en las instrucciones de mantenimiento de los suministradores.

17.6. Mantenimiento anual

Todos los años la mayoría de los elementos de la planta como tanques, reactores y tuberías deben ser revisados.

17.7. Ejecución de las instalaciones

La instalación está construida por diferentes materiales. Los más importantes son:

- Acero (tanque reactor)
- Acero inoxidable (algunos reactores internos)
- HDPE (tuberías)

Algunos puntos que podrían recibir una atención extra durante la inspección de los tanques o de las tuberías son:

- Largas deformaciones
- Fundación y anclaje
- Fuga de conexiones soldadas
- Fugas entre aislamientos

- Registros

17.8. Últimas inspecciones

- Remover los procesos líquidos
- Mover o abrir las tapas
- Chequear la concentración de componentes tóxicos (H_2S)
- Chequear que no haya explosiones peligrosas a la atmósfera (mezclas LEL, H_2 y O_2)
- Tener en cuenta todos los aspectos de seguridad
- Limpiar la superficie que tiene que ser inspeccionada

17.9. Comp. de los tanques y tuberías

El reactor está fabricado por fuera en acero. La mayoría de las tuberías están fabricadas en HDPE. Para una completa visión ver la lista de suministradores.

17.10. Desguace y retirada de A.R.

- Si los tanques, reactores u otras partes de la instalación, que han estado en contacto con procesos líquidos se vuelven a reutilizar, se debe conocer si están preparados para la nueva propuesta.
- Determinar la composición de los líquidos de proceso y los restos químicos y deshacerse de ellos de acuerdo con las prescripciones válidas en el momento de los vertidos.
- El pH de los electrodos y los tubos usados para el análisis de las mezclas de gas tienen que desecharse como residuos químicos.
- Los elementos no suministrados por el proveedor habitual pueden eliminarse de acuerdo con el suministrador habitual, haciendo, éste, de asesor.

CAPÍTULO 18:

SEGURIDAD

La instalación cumple los requisitos de seguridad y salud en el trabajo de las directrices pertinentes de la Comunidad Europea. Sin embargo, se pueden crear situaciones peligrosas debido a errores de juicio o negligencias en las operaciones.

Condiciones de trabajo

Las condiciones de trabajo deben ser tan seguras como sea posible. Por lo tanto, los trabajadores

- No harán nada que no sea seguro.
- Resolverán las situaciones de inseguridad y/o emergencia tan pronto como sea posible e informarán sobre ellas.
- Vestirán la ropa de protección adecuada.
- Mantendrán el lugar de trabajo ordenado y limpio.
- Tendrán cuidado con ropas flojas y su pelo etc. Sobre todo en zonas de máquinas rotativas.
- Mantendrán las manos alejadas de las partes móviles.
- Nunca se manipulará para reparación o mantenimiento sobre una máquina que no esté desconectada.

En este tipo de plantas se suele producir derrames de aguas residuales, fangos, aceites, y otros productos, que influyen en gran manera a dar malos olores y sobre todo riesgos de caídas u otros accidentes.

Se deben retirar mediante manguera con agua en caso de residuos líquidos, fangos, etc. y mediante barrido y posterior vertido en un contenedor los vertidos sólidos.

Debido a estos problemas que se pueden producir se debería tomar especial cuidado y revisión periódica de los equipos con el fin de mantenerlos en el mejor estado de conservación y evitar que se produzcan derrames, proyecciones de agua residual, productos químicos, fangos, etc.

En caso de observar cualquier anomalía, sería conveniente parar el equipo, bomba, etc. que está originando la anomalía y tomar las medidas correctoras con el departamento de mantenimiento.

Los accesos a la instalación deben estar libres de obstáculos.

Condiciones de peligro

En caso de peligro, ya sea para las personas y/o la instalación, se deberá hacer uso inmediatamente de la parada de emergencia.

El personal que trabaje en las proximidades de la instalación deberá conocer la ubicación y la función de la parada de emergencia, para poder detener rápidamente la instalación en una situación de peligro.

Si una parte de la instalación está parada por una alarma o situación de emergencia, se debe considerar si esta circunstancia puede crear alguna situación de peligro, por reboses en balsa, digestores, etc. se deberá "bypasear" el equipo si se puede, o parar la instalación.

Condiciones de mantenimiento

Cuando se vaya a realizar cualquier reparación o trabajo de mantenimiento en una parte de la instalación, se deberá desconectar en la sala eléctrica los equipos de accionamiento de las partes pertinentes de la instalación. Si hay un pulsador de emergencia a pie de máquina manténgalo accionado, y comunique sus actuaciones al personal implicado de operación y sobre todo al acabar los trabajos, con el fin de realizar las pruebas necesarias antes de dejar el equipo nuevamente en servicio.

En el caso de tener que acceder a cualquier elemento que tenga cualquier producto químico, agua residual, fango, etc. es conveniente lavar con agua abundante antes de desmontar cualquier equipo y/o manipular en su interior, lavar los elementos internos de la misma forma.

Una vez montado de nuevo realizar pruebas de estanqueidad con el fin de verificar que no existen proyecciones de agua residual, productos químicos, fangos, etc.

18.1. Aspectos de seguridad general

Las siguientes normas son aplicables a toda la instalación:

- Se prohíbe fumar e introducir o provocar llamas desprotegidas en todo el recinto.
- Prohibición de actividades que puedan producir chispas ó fuego en los alrededores de las tuberías de biogás, digestores, sobre todo en las zonas poco ventiladas.
- Precaución el interior de los tanques, incluso estando vacíos puede haber gases explosivos, ventilar adecuadamente antes de entrar a realizar cualquier trabajo.
- Se solicitará un permiso de trabajo en estas áreas al departamento de seguridad correspondiente.
- Cuando se trabaje cerca, o en los Reactores Anaerobios, Depósitos de Homogenización y Pre-acidificación, Tratamiento de Biogás, Antorcha de biogás, lugares poco ventilados como son zonas bajas, arquetas, etc. que pudieran retener bolsas de Biogás, o cualquier otro producto componente de los gases de la instalación. Se deberá portar en todo momento una unidad móvil de detección de gases para el Gas Metano, Sulfhídrico (H_2S) y el LIE (Límite Inferior de Explosión).
- Si la concentración de H_2S es superior a 10 ppm. es obligatorio llevar una máscara de gas tipo equipo de respiración autónomo.
- Tener disponible en todo momento un equipo de respiración autónomo en lugar cercano.
- Acceso controlado ó restringido a las zonas más peligrosas en potencia.
- Usar mascarillas en aquellos trabajos que requieran la presencia de operarios en zonas bajas (por ejemplo, limpieza de zonas bajas, arquetas, etc.).
- Control de trabajos de soldadura, corte, equipos eléctricos, contacto metal-metal (golpeteo), trabajos que produzcan

descargas electrostáticas, etc. y en general cualquier trabajo que pueda producir cualquier formación de chispas.

- Cuando se manejen productos químicos deberá utilizarse la protección adecuada, es decir:
 - Guantes y ropa resistentes a los productos químicos.
 - Protección de los ojos y el rostro.
 - Máscaras para evitar problemas respiratorios.

18.2. Gases y vapores peligrosos

Biogás

El reactor anaerobio produce biogás.

Composición general del biogás:

- Metano (CH_4) 70 - 80 % Vol.
- Dióxido de carbono (CO_2) 15 - 20 % Vol.
- Sulfuro de hidrógeno (H_2S) 0,1 - 0,5 %
- Agua (H_2O) 0 - 5%

La mezcla de estos componentes presenta una densidad inferior al aire ($d_r = 0,9$ aprox.) y un fuerte mal olor debido al H_2S . Su poder calorífico oscila entre 6.000 y 6.500 Kcal/m³ lo que le confiere propiedades energéticas importantes y posibilidad de arder y/o explosionar, en función de la relación con la cantidad de aire presente.

Su toxicidad es muy elevada debido al contenido sobre todo de H_2S .

Metano

El principal subproducto de la descomposición anaerobia de la materia orgánica del agua residual es el gas metano. Es un hidrocarburo combustible de alto valor energético, incoloro e inodoro. Normalmente, no se encuentra en grandes cantidades en el agua residual, puesto que incluso pequeñas cantidades de oxígeno tienden a ser tóxicas para los organismos responsables de la producción del metano. No obstante, en ocasiones, se produce como resultado de un proceso de descomposición anaerobia que puede darse en depósitos

acumulados en el fondo. Debido a que el metano es sumamente combustible y a que el riesgo de explosión es elevado, los pozos de registro y empalmes de alcantarillas o cámaras de conexión en los que existe el riesgo de acumulaciones de gas deberán ser aireadas con un ventilador portátil antes y durante los lapsos de tiempos en los que los operarios trabajen en ellos. En las plantas de tratamiento, el metano se genera en los procesos de tratamiento anaeróbicos empleados a la estabilización de los fangos de aguas residuales. Además, deberán disponerse carteles de aviso sobre el peligro de explosión existente, y los operarios deberán ser instruidos acerca de las medidas de seguridad que hay que respetar durante los horarios de trabajo en las estructuras en las que pueda aparecer el gas. La mezcla de metano en el aire en una proporción del 4,4 al 16% Vol. es explosiva.

Sulfuro de hidrógeno

Se forma durante el proceso de descomposición de la materia orgánica que contiene azufre, o en la reducción de sulfitos y sulfatos minerales, mientras que su formación queda inhibida en presencia de grandes cantidades de oxígeno. En un gas incoloro, inflamable, con un olor típicamente característico que recuerda al de huevos podridos. El ennegrecimiento del agua residual y del fango, se debe, generalmente, a la formación de sulfuro de hidrógeno que se combina con el hierro presente para formar sulfuro ferroso u otros sulfuros metálicos.

- Umbral inferior de concentración con olor 0,1 ppm.
- Umbral superior de concentración con olor 70 ppm.
- Valor máximo admisible 10 ppm.
- Límite de explosión 4,3-4,6 %Vol.

El sulfuro de hidrógeno es más pesado que el aire y por lo tanto se extenderá sobre el suelo. Si se mezcla con metano puede ser más ligero que el aire.

Hidrógeno

Durante la pre-acidificación del agua residual se forma hidrógeno gas.

La cantidad de hidrógeno formada depende del tipo de DQO y su concentración.

Si los tanques donde se produce acidificación el Biopaq I.C. y otros tanques se ventilan continuamente la concentración de hidrógeno se mantiene suficientemente baja. Sin embargo si la ventilación falla o si para, la concentración de hidrógeno puede llegar a niveles peligrosos en muy poco tiempo.

Por lo tanto, es importante tomar precauciones antes de la puesta en marcha del hidrógeno compresor.

- Densidad relativa (aire = 1): 0,07
- Explosión límite (LEL): 4% Vol.
- Explosión límite (UEL): 76% Vol.

Las personas que puedan estar expuestas al gas H_2S deben tener una máscara de gas de buena calidad y controlada, así como un equipo portátil de detección de H_2S . Se deberá llevar puesta la máscara cuando se esté expuesto a concentraciones mayores de 10 ppm.

Si un detector fijo o portátil de H_2S da la alarma, las personas presentes deberán:

- Llevar puesta la máscara de gas en todo momento
- Si es posible, eliminar la fuente de H_2S
- Salir del lugar de forma ordenada, andando hacia la dirección del viento

Aire de ventilación

Se puede extraer el aire de la instalación en varios lugares. El aire extraído puede contener varios gases y vapores, como sulfuro de hidrógeno, hidrógeno y dióxido de carbono.

CAPÍTULO 19:

CONCLUSIONES

El agua, aprovechada por el ser humano, en cantidad de usos, puede acabar contaminada en distintos grados de contaminación. En ocasiones, dependiendo de ese grado, la calidad del agua puede dañar el medio ambiente con el que está en contacto

La necesaria regeneración de esas aguas supone un elevado coste que podría reducirse con políticas de concienciación para un uso responsable del agua potable.

Para hacer un mejor uso de las aguas hemos de conocer el origen de los problemas que se puedan presentar para poder atajarlos.

Un agua contaminada es toda aquella agua que no corresponde a ninguno de sus tipos de usos, a saber: Industrial, Agrícola, Suministro Público, o como medio de vida de Fauna y Flora.

Como solución a la contaminación de las aguas se construyen las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales, entre otras medidas. Estas plantas dedicarán procesos depurativos exclusivos para cada característica contaminante de las presentes en las aguas.

Esta planta responde a las necesidades de regeneración hídrica de una gran comarca con más de un millón de habitantes equivalentes y que genera tanto residuos urbanos como industriales. Al no provenir las aguas de uso industrial de industrias pesadas podrán tratarse como aguas urbanas.

La puesta en funcionamiento de este tipo de plantas (para grandes poblaciones con aguas muy contaminadas) supone un increíble gasto inicial y aunque se van construyendo en fases a la larga su implantación es increíblemente beneficiosa para el medio ambiente y la salud humana.

CAPÍTULO 20:

BIBLIOGRAFÍA

- Rigola Lapeña Miguel, "*Tratamiento de aguas residuales*". Edición Marcombo SA. México 1989.
- Aurelio Hernández Muñoz. "*Depuración De Aguas Residuales*". Editorial Paraninfo. 4a Edición, 1998. Madrid.
- Metcalf & Eddy. "*Ingeniería De Aguas Residuales. Tratamiento Vertido y Reutilización*". Editorial McGraw-Hill. 3a Edición 1995. Madrid.
- Ramalho, R.S., "*Tratamiento de Aguas Residuales*", Editorial Reverté, Barcelona 1.991.
- Rubens Sete Ramalho. "*Tratamiento De Aguas Residuales*". Editorial rev. Barcelona 1996.
- J.L. Bueno y otros. "*Contaminación E Ingeniería Ambiental. TOMO 1 CONTAMINACIÓN DEL AGUA*". Editorial FYDSA. 2a Edición 1997. Madrid

- Eduardo Ronzano, Jose Luís Dapena (PRIDESIA). "Tratamiento Biológico De Las Aguas Residuales" Edicions Diaz de Santos S.A., Madrid 1995
- http://www.consorciodeaguas.com/Web/Normativa/pdf/reglamento_vertidos.pdf
- http://www.prtr-es.es/informes/fichacomplejo.aspx?id_complejo=3958